

国际贸易、污染产业转移和中国工业 CO₂ 排放^{*}

李小平 卢现祥

内容提要:通过国际贸易,发达国家是否会专业化生产并出口“干净型”产品,并从中国进口污染密集型产品,从而使中国成为“污染产业天堂”呢?国际贸易等因素如何影响中国工业行业的二氧化碳(CO₂)的排放呢?本文采用环境投入产出模型和净出口消费指数等方法,运用中国20个工业行业与G7和OECD等发达国家的贸易数据,实证检验了这些问题。本文得到几个结论:(1)在中国出口产品隐含的CO₂中,国内生产的CO₂所占比例逐步减少;(2)发达国家向中国转移的产业并不仅仅是污染产业,同时也向中国转移了“干净”产业;(3)国际贸易能够减少工业行业的CO₂排放总量和单位产出的CO₂排放量。因此,中国并没有通过国际贸易成为发达国家的“污染产业天堂”。

关键词:国际贸易 污染产业转移 CO₂ 排放

一、导 言

减少CO₂排放是世界各国面对的共同问题。在各国减少CO₂排放的时候,一个很重要的问题引起了全球的关注:在自由贸易的情况下,具有严格环境规则的发达国家可能会专业化生产并出口“干净型”产品,并从环境规则较松的发展中国家进口污染密集型产品,从而向发展中国家转移污染产业。环境规则差异对CO₂排放的影响可以从《京都议定书》的实施情况中看到。2006年京都议定书缔约方的CO₂排放量相对于1990年平均减少了7.3%,而非缔约方平均增加了63%,世界共增加了33.4%(IEA,2008)。因此,具有严格环境规则的发达国家可能比发展中国家更多地减少污染排放。但发达国家的污染排放减少是向发展中国家转移污染产业的结果吗?国外学者对此进行了许多研究。现有实证研究文献主要沿着两个思路:一条是检验一国的外商直接投资是否因为宽松的环境规则而形成,其主要采用计量模型检验一国的FDI流入或流出(或者跨国公司的选址)是否受环境规则的影响。另一条是检验发展中国家和发达国家污染产品生产、消费和贸易的动态变化,其典型的方法是采用净出口消费指数来衡量一国污染产品的净出口相对于其国内消费的相对变动,某污染产品的净出口相对于其国内消费的比重逐年增加就表明该污染产业向本国转移了。总的来看,这些实证研究得出的结论不很一致,有些研究发现某些地区存在污染产业转移现象,而有些文献没有发现明显的证据(List et al,2004;Cole,2004;Dean et al,2009;Antweiler et al,2001;Mongelli et al,2006)。

自改革开放以来,伴随着中国经济快速增长的是国际贸易的快速增长和CO₂排放的急剧增

^{*} 李小平,中南财经政法大学经济学院,中国社会科学院财贸所,邮政编码:430074,电子邮箱:chineselxp@126.com;卢现祥,中南财经政法大学经济学院,邮政编码:430074。本研究得到了霍英东教育基金青年教师资助项目(编号:111088)、国家社科基金项目(编号:08JL026)、中国博士后基金项目(编号:20080430062)和中国博士后特别项目(编号:200801151)的资助;作者特别感谢两位匿名审稿人的建设性建议;本文的初稿是第九届中国经济学会的入选论文。文责自负。

陆瑜(2009)分析了污染天堂效应;本文检验的是污染天堂假说。

加；中国燃料燃烧所产生的 CO₂ 排放从 1990 年的 22.44 亿吨上升到 2006 年的 56.485 亿吨，已经跃居于世界第二，仅次于美国（IEA, 2008）。因此，国内学者对开放经济下的中国环境问题进行了一些研究。王姝（2008）、沈利生等（2008）、张友国（2009）等利用投入产出模型对贸易的环境代价进行了分析，结果表明贸易对中国能源消耗和污染排放的影响已不容忽视。国务院发展研究中心课题组（2009）提出了全球温室气体减排的一个理论框架和解决方案，其特别强调碳排放权的作用。但是中国是否通过国际贸易成为了“污染产业天堂”呢？国际贸易如何影响中国工业行业的 CO₂ 排放？已有的文献并没有对此问题进行充分的实证研究。

本文首次以中国工业行业作为研究对象，试图在现有文献基础上做如下的贡献：第一，本文检验了 G7 和 OECD 国家是否通过国际贸易途径向中国进行了污染产业转移。现有对“污染天堂”假说检验的研究样本主要以发达国家尤其是以美国、欧盟等国为例，即检验这些发达国家向发展中国家整体上是否存在污染产业转移，而以单个发展中国家作为研究对象的很少。第二，本文实证检验了国际贸易等因素对中国工业行业 CO₂ 排放的影响。当前，国际贸易与 CO₂ 排放的相关研究正成为经济学研究的一个热点问题。就中国样本研究而言，相关的研究偏重于分析国际贸易隐含的 CO₂（Embodied CO₂）；大部分文献都认为，贸易是中国 CO₂ 排放增加的重要原因。但是国际贸易不仅在商品中直接隐含 CO₂，也通过规模效应、技术效应和构成效应等影响到一国的 CO₂ 排放，因此，仅仅测算国际贸易隐含的 CO₂ 还不能判断国际贸易对 CO₂ 排放的真实影响。中国是一个 CO₂ 排放大国和贸易大国，但是现有对中国 CO₂ 排放影响因素研究的文献相对很少，尤其缺乏关于国际贸易等因素对中国 CO₂ 排放影响的实证文献。

本文其它的内容安排如下：第二部分介绍本文的分析框架及其计量模型；第三部分是数据及其处理；第四部分是污染产业转移的实证结果；第五部分是国际贸易等因素影响工业行业 CO₂ 排放的计量回归结果分析；第六部分是结论。

二、分析框架及模型

本文的研究思路分三步：首先我们利用环境投入产出模型，分析中国各行业的 CO₂ 排放系数；其次，我们利用净出口消费指数验证“污染天堂假说”；最后我们利用计量模型检验国际贸易等因素对中国工业行业 CO₂ 排放的影响。

（一）环境投入产出模型

为了计算出各产业的各种 CO₂ 排放系数，研究者一般使用环境投入产出方法（Pan et al, 2008）。现有文献在构建中国的环境投入产出模型时有两点不足。第一，现有的文献忽略了中国所处的垂直专业化分工背景。中国参加国际垂直专业化分工的程度已越来越高，因此，我们要考虑出口中隐含的来自于国外生产的 CO₂。第二，现有相关文献大多数使用中国国家统计局提供的投入产出表，该投入产出表没有把中间使用、最终使用以及中间投入区分为国内和进口两部分，而 OECD 提供的中国投入产出表可以克服这点不足。我们在 Julio et al (2004) 等现有文献的基础上构建环境投入产出模型： $x = Ax + y$ 。其中， x 是各部门的总产出向量， y 是最终需求向量，包括国内需求和出口， A 是直接消耗系数矩阵， $A = \{x_{ij}/x_j\}$ ，其中， x_{ij} 是 j 部门消耗 i 部门的产品数量； x_j 是 j 部门的总

Pan (2008) 的结果显示中国 2006 年共排放了 55 亿吨 CO₂，其中国内消费的为 34.8 亿吨，净出口中隐含了 16.6 亿吨。

Cole et al (2008)、Ang (2009) 分别检验了中国各工业行业的研发等因素对 CO₂ 排放的影响，但是这两篇文献并没有考虑国际贸易等因素的影响。本文在这两篇文献的基础上进行了扩展研究。

Dean et al (2007)、Koopman et al (2008) 等发现中国出口的国外价值含量很高。

产出。从上式移项可以得到： $x = (I - A)^{-1}y$ ，其中 $(I - A)^{-1} = \{a_{ij}\}$ 是列昂惕夫逆矩阵，其元素 a_{ij} 代表单位最终需求的直接和间接的（即完全）投入需求。

我们设国内和进口投入的技术系数矩阵分别为 A^d 和 A^m ，其中， $A^d = \{x_{ij}^d/x_j\}$ ， x_{ij}^d 为生产 x_j 的产出所消耗 i 部门的国内投入； $A^m = \{x_{ij}^m/x_j\}$ ， x_{ij}^m 为生产 x_j 的产出所消耗 i 部门的进口投入；并且 $A = A^d + A^m$ 。这样，总进口 x 可以分为两部分，一部分作为最终需求直接消费，另一部分作为中间投入， $x^m = x_{ij}^m e^T + y^m$ ，其中 $e = (1, 1, \dots, 1)$ ，写成矩阵的形式为： $x^m = A^m x + y^m = A^m (I - A)^{-1}y + y^m$ 。设 $c^d = \{c_j^d\} = \{C_j^d/x_j\}$ 是国内单位产出 CO_2 直接排放系数向量，其中 C_j^d 是部门 j 产生的直接 CO_2 排放量；根据投入产出理论，那么国内单位产出的 CO_2 完全排放系数为直接排放系数与列昂惕夫逆矩阵的乘积，即： $v^d = c^d (I - A)^{-1} = \{v_j^d\}$ 。将直接排放系数 c^d 与列昂惕夫逆矩阵代入上式，我们可以得到 $v_j^d = c_1^d a_{1j} + c_2^d a_{2j} + c_3^d a_{3j} + \dots + c_n^d a_{nj}$ ，其代表为了获得一单位 j 部门的最终需求，一国产生的直接的和间接的 CO_2 排放量。从生产角度来看，国内为了满足最终需求所生产产品中隐含的 CO_2 总量为： $C^d = c^d x = c^d (I - A)^{-1}y = v^d y$ 。同时，国内还从国外进口以满足最终需求。从国外进口产品所隐含的 CO_2 对于中国来说相当于节省了本需要国内生产所产生的 CO_2 。因此，我们从进口替代的角度假定国外生产单位产值的 CO_2 完全排放系数等于国内的 v^d 。我们将完成排放系数 v^d 与总进口 x^m 相乘，就可以得到国外进口所隐含的 CO_2 ， $C^m = v^d x^m = v^d A^m (I - A)^{-1}y + v^d y^m$ 。

所以，中国最终需求隐含的总 CO_2 (C) 等于国内生产排放的 CO_2 (C^d) 和国外进口隐含的 CO_2 (C^m) 之和： $C = C^d + C^m = v^d y + v^d A^m (I - A)^{-1}y + v^d y^m$ 。其中， $v^d y$ 是国内生产排放的 CO_2 ， $v^d A^m (I - A)^{-1}y$ 是国外为生产进口投入所排放的 CO_2 ， $v^d y^m$ 是国外为生产进口消费产品所排放的 CO_2 。设 $v^t = c^d (I - A)^{-1} + c^d (I - A)^{-1} A^m (I - A)^{-1}$ ， $v^m = c^d (I - A)^{-1} A^m (I - A)^{-1}$ ， $c^m = c^d (I - A)^{-1} A^m$ ， $c^t = c^d + c^d (I - A)^{-1} A^m$ ，则： $v^t = v^d + v^m$ ， $c^t = c^d + c^m$ ， $C = v^t y + v^d y^m$ 。其中， c^m 指为了得到每单位的中国最终需求产品，国外投入直接排放的 CO_2 ； c^t 是指为了得到每单位的中国最终需求产品，国内和国外直接排放的 CO_2 之和； v^m 指为了得到每单位的中国最终需求产品，国外投入完全排放的 CO_2 ； v^t 是指为了得到每单位的中国最终需求产品，国内和国外所完全排放的 CO_2 。

(二)“污染天堂假说”及中国工业行业 CO_2 排放的影响因素检验

一般采用净出口消费指数 (NETXC) 来检验污染天堂假说 (Mongelli et al, 2006)：该指数可以衡量本国污染产业对其它国家或地区的净出口相对于该产业本国消费的比重，根据该指数的趋势就可以判断是否存在“污染产业”转移的现象。我们设净出口消费指数为 $NETXC_{it}^j = \frac{X_{it}^j - M_{it}^j}{C_{it}^j}$ 。其中， $C_{it}^j = P_{it} - (X_{it}^w - M_{it}^w)$ ， C, X, M, P 分别代表本国的消费、出口、进口和产值， i 和 t 分别代表行业和年度， j 分别代表 G7 国家以及 OECD， w 表示世界。如果中国的某产业对上述 2 个地区的净出口消费指数在研究期间呈上升趋势，则说明该地区向中国转移了该产业，如果该产业是污染产业，则“污染产业转移”成立；反之，则说明中国向该地区转移出了该产业。

在检验了国际贸易是否造成污染产业天堂的基础上，我们检验国际贸易等因素对中国工业行业 CO_2 排放的影响情况。在 Cole et al (2008) 模型的基础上，我们构建计量模型 (1) 式；在控制其他影响因素的基础上，我们着重分析贸易开放度、与发达国家的进出口贸易、人均产出等因素对中国各工业产业 CO_2 排放的影响：

我们在选择自变量时运用了逐步回归方法，因此，我们选取的变量和 Cole et al (2008) 模型中的变量有一些差别；本文回归方程中选了因变量的滞后一阶项是因为增加了此项后，回归的结果更显著。

$$C_{it} = C_{i,t-1} + \beta_1 trade_{it} + \beta_2 ex_{it} + \beta_3 im_{it} + \beta_4 \ln y_{it} + \beta_4 (\ln y_{it})^2 + \beta_5 rd_{it} + \beta_6 \ln zib_{it} + \beta_7 \ln size_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 和 t 分别代表行业和年度, C 为工业行业的 CO₂ 排放量。我们分别以单位产出的 CO₂ 排放量和 CO₂ 排放量的自然对数表示; \ln 是自然对数, μ_i 和 ε_{it} 分别为不可观察的各产业的个体差异和随机扰动项。trade 代表贸易开放度, 以该产业的进出口总量与其增加值的比值表示。国际贸易主要通过规模效应、技术效应和构成效应等对环境产生影响 (Grossman and Krueger, 1991), 因此, 贸易开放度对 CO₂ 排放的总影响不能预先确定。ex 和 im 分别为产业对发达国家的进口占其总进口的比值和对发达国家的出口占其总出口的比值因素。y 是人均产出; 许多文献都证实人均产出与污染排放存在环境库兹涅茨假说 (Song et al, 2008; 蔡昉等, 2008)。rd 是研发强度, 以每个产业的研发经费与增加值之比衡量, 该值越大表示该产业中企业的创新能力越强, 能够以更少的投入得到更多的产出, 有利于减少 CO₂ 排放。zib 是资本强度, 以人均资本存量表示。size 是企业规模, 以产业中单个企业的平均增加值表示。

由于我们的面板数据是“小时间维度, 大横截面维度”, 且模型中包含有被解释变量的滞后项, 导致解释变量和随机扰动项相关, 并且其他解释变量也可能存在内生性, 因此我们采用系统 GMM 方法估计。本文采用 Windmeijer (2005) 的方法对其进行矫正。在使用系统 GMM 估计方法时, 我们采用 Sargan test 值来检验工具变量的可靠性, 若该检验值较小, 我们接受工具变量是合适的原假设。我们以一阶差分转换方程的一阶和二阶序列相关检验 AR (1)、AR (2) 来判断随机扰动项是否序列相关。

三、数据及处理

我们使用了经济合作与发展组织 (OECD) 2009 年版本的投入产出数据库, 该版本提供了中国 1995、2000 和 2005 年的投入产出表。OECD 的投入产出表可以分为总使用表、进口使用表和国内使用表。从总使用表可以获得各行业总的中间投入矩阵, 结合各行业的总产出数据, 即可计算出各行业单位产出的总的投入系数矩阵 (A^m)。从进口使用表可以获得各行业进口中间投入矩阵, 结合各行业的总产出数据, 即可计算出各行业单位产出的进口中间投入系数矩阵 (A)。OECD 的投入产出表提供了 48 个部门的投入产出数据, 我们将此表合并成包含 23 个部门的投入产出表。我们以各行业每年的能源消耗量乘以单位能源使用的 CO₂ 排放系数, 即得到各行业每年的 CO₂ 排放量。各行业的能源消耗总量数据来源于各年的《中国统计年鉴》; 单位能源使用的 CO₂ 排放系数为 2.13 吨 CO₂/每吨标准煤。我们以各行业 CO₂ 排放总量除以当年的增加值, 得到单位产出的 CO₂ 直接排放系数。再根据环境投入产出分析框架, 我们得到各行业的其它各种 CO₂ 排放系数。

为了和 OECD 的统计口径一致, 本文对中国工业行业进行了合并, 共整理成了 20 个工业行业。它们分别是: 采矿业 (包括煤炭采选业、石油和天然气开采业、黑色金属矿采选业、有色金属矿采选业、非金属矿采选业)、食品生产、饮料和烟草业 (包括农副食品加工业、食品制造业、饮料制造业和烟草制造业)、纺织、服装和皮革业 (包括纺织业、纺织服装、鞋帽制造业和皮革、毛皮、羽毛及其制品业)、木材加工业、造纸、印刷业 (包括造纸及纸制品业、印刷业和记录媒介的复制业)、石油加工、炼焦及核燃料加工业、化学工业 (包括化学原料及化学制品制造业、化学纤维制造业)、医药制造业、橡

环境库兹涅茨 (EKC) 假说认为人均产出及其平方项与污染排放成倒 U 型关系。

我们借鉴了 Pan et al (2008) 的做法, 该排放系数来源于 CAIT 提供的转换率。陈诗一 (2009) 采用 IPCC 所推荐的方法和我們所使用的排放系数相似。

胶、塑料制品业(包括橡胶制品业和塑料制品业)、其它非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、金属制品业、机械制造业(包括通用设备制造业和专用设备制造业)、仪器仪表及文化、办公用品制造业、电气机械及器材制造业、通讯设备、计算机及其它电子设备制造业、交通运输设备制造业、其它制造业(包括家具制造业、废弃资源和废旧材料回收加工业)、电力、燃气的生产供应业(电力、热力的生产和供应业、燃气生产和供应业)。

为了统计口径及数据的可得性,我们的研究时段为1998—2006年。我们采取陈勇、李小平(2006)的方法对中国工业行业的投入、产出数据进行处理。我们以各行业每年的不变价增加值比全部从业人员年均人数得到人均增加值 y ;以年均资本存量比全部从业人员年均人数得到人均资本存量 zib ;以不变价增加值比企业单位数得到单个企业的平均增加值 $size$;以当年的研发经费比当年的增加值得到研发变量 rd 。本文中所有的贸易数据来源于OECD(OECD, Stan Bilateral Trade Database, 2008 edition)。该数据库提供了按ISIC Rev. 3分类的中国各工业行业(从分类为01到40的行业)向世界的以及G7和OECD等主要地区的进、出口数据统计。

表1是根据环境投入产出模型计算出的各行业 CO_2 排放系数结果。我们得到几个主要的结论。首先,中国各行业的 CO_2 直接排放系数、总排放系数在研究期间有变小的趋势。在1995—2000年间,各行业的 CO_2 直接排放系数、总排放系数的简单平均值减少了近一半,这说明从上个世纪90年代中期到本世纪初,中国各行业的节能减排取得了很好的效果,各行业单位产值的 CO_2 排放系数都下降了。2005年,各行业的 CO_2 直接排放系数简单平均值继续保持下降趋势;而各行业总排放系数的简单平均值有反弹趋势,这主要是由于国外投入的 CO_2 完全排放系数增加的原因。2005年金属冶炼、石油加工、电力、燃气生产、交通运输设备等12个行业的国内完全排放系数比2000年的数据增加了。出现 CO_2 完全排放系数反弹的行业主要集中在重工业行业,而农业等行业的 CO_2 完全排放系数没有反弹;这可能和2005年前后中国出现的重工业化趋势有关,如这些重工业行业部门的投资增长过快,以至这些重工业行业的粗放式产能增加,导致单位产值的能耗和排放增加。其次,除了石油加工业和其它非金属矿物制品业外,各行业的国内投入的 CO_2 排放系数占总 CO_2 排放系数的比例都减少了;即在单位出口产品所隐含的 CO_2 中,国内投入隐含的 CO_2 所占的比例减少,而中间投入品进口中隐含的 CO_2 所占比例增加。这个结果也验证了Dean et al(2007)等认为中国垂直专业化分工程度增加的结论。

此外,各行业的国内投入直接排放系数都要远远小于国内投入的完全排放系数,从所有行业的简单平均值来看,后者是前者的2倍多,并且这个比例有增加的趋势。这说明国内各行业的关联度增加,每个行业所生产产品中隐含的 CO_2 中所间接隐含的其他行业所生产的 CO_2 的比例越来越高。另外,金属冶炼及压延加工业、石油加工、炼焦及核燃料加工业等为 CO_2 排放系数最大的行业,这些行业主要集中在重工业行业; CO_2 排放系数次之的行业主要集中在电气机械及器材制造业、橡胶、塑料制品业、造纸印刷业等; CO_2 排放系数最小的为服务业、农林牧渔、水利业等。这个结论和我们预期的结论一致:重工业的 CO_2 排放强度最大,轻工业次之,服务业和农林牧渔、水利业等最小。

中国的污染产业与发达国家相比,有一点差异。Cole(2004)认为木材加工业、化学工业(包括医药工业)、非金属矿物制造业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业是发达国家污染强度最大的行业,而纺织、服装、皮革制造业、金属制品业、其它制造业等行业是发达国家污染强度最小的行业。而对于中国来说,除了木材加工业是中国 CO_2 排放系数最小的行业之一,金属

具体计算见陈勇、李小平(2006),本文增加了2004、2005、2006年的数据。

制造业是中国 CO₂ 排放系数最大的行业之一，其它产业的污染度定义基本一致。

表 1 各行业单位产出的 CO₂ 排放系数 (单位:吨 CO₂/万元)

行业	1995				2000				2005			
	c^d	v^d	v^t	v^d/v^t	c^d	v^d	v^t	v^d/v^t	c^d	v^d	v^t	v^d/v^t
金属冶炼	6.50	13.24	14.85	0.89	3.33	7.76	9.00	0.86	3.35	8.36	10.53	0.79
石油加工	4.74	10.66	12.49	0.85	2.47	6.62	8.09	0.82	4.77	9.21	10.70	0.86
化学工业	5.01	10.62	12.22	0.87	2.23	5.75	6.83	0.84	1.34	5.19	6.76	0.77
电力、燃气生产	5.78	9.86	10.86	0.91	1.99	4.58	5.27	0.87	2.93	6.31	7.35	0.86
其它非金属矿物	3.92	8.94	10.12	0.88	4.83	8.21	9.05	0.91	—	—	—	—
交通运输设备	0.65	7.63	9.92	0.77	0.28	3.44	4.53	0.76	0.19	4.00	5.75	0.70
采矿业(能源)	5.34	8.76	9.73	0.90	4.46	5.97	6.42	0.93	3.15	5.53	6.35	0.87
金属制品业	0.58	7.78	9.57	0.81	0.45	4.96	6.18	0.80	0.37	5.31	7.21	0.74
仪器仪表及通讯	2.56	7.47	9.31	0.80	0.11	2.92	4.92	0.59	0.10	3.35	6.29	0.53
机械制造业	0.83	6.47	8.32	0.78	0.59	4.25	5.43	0.78	0.23	4.40	6.24	0.70
其它服务业	4.91	7.57	8.20	0.92	1.84	3.75	4.32	0.87	1.38	3.29	4.14	0.79
电气机械	0.19	5.66	7.85	0.72	0.09	3.88	5.34	0.73	0.13	4.39	6.36	0.69
橡胶、塑料	0.77	6.10	7.76	0.79	0.38	3.64	4.91	0.74	0.35	3.88	5.14	0.76
造纸、印刷	1.99	6.09	7.36	0.83	1.27	4.03	5.37	0.75	0.68	3.64	4.92	0.74
木材加工	1.57	5.87	7.13	0.82	0.59	3.22	4.06	0.79	0.27	3.08	4.17	0.74
建筑业	0.21	5.69	7.02	0.81	0.14	4.15	5.12	0.81	0.22	3.60	4.91	0.73
采矿业(非能源)	1.64	5.71	6.83	0.84	1.07	3.45	4.15	0.83	1.80	5.46	6.89	0.79
其它制造业	0.72	5.12	6.47	0.79	1.05	4.08	5.17	0.79	0.46	2.68	3.55	0.76
纺织、服装	0.77	4.40	5.63	0.78	0.51	2.73	3.49	0.78	0.45	2.96	4.08	0.73
食品生产、饮料	0.88	3.42	4.05	0.84	0.60	2.23	2.63	0.85	0.37	2.15	2.79	0.77
批发、零售	0.22	3.07	3.91	0.79	0.27	2.11	2.63	0.80	0.41	2.17	2.84	0.76
农、林、牧、渔	0.58	2.50	3.03	0.82	0.44	1.84	2.15	0.85	0.51	1.80	2.28	0.79
交通、运输、仓储	2.41	2.69	3.00	0.90	1.38	3.51	4.16	0.84	1.37	4.17	5.27	0.79
简单平均	2.29	6.75	8.07	0.83	1.32	4.22	5.18	0.81	1.08	4.13	5.41	0.72
加权平均	1.80	5.80	6.96	0.83	1.16	3.89	4.76	0.82	1.08	4.05	5.35	0.76

注：加权平均以各产业产值占总产值的比例作为权重。

四、污染产业转移的实证结果

根据工业行业的 CO₂ 总排放系数的大小，我们将所分析的 20 个工业行业分为两类。一类是高排放系数行业：黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、石油加工、炼焦及核燃料加工业、医药制造业、化学工业、电力、燃气的生产和供应业、其它非金属矿物制品业、金属制品业、仪器仪表及文化、办公用品制造业、通信设备、计算机及其它电子设备制造业等 10 个行业。另一类为低排放系数行业：交通运输设备制造业、采矿业、机械制造业、电气机械及器材制造业、橡胶、塑料制品业、造纸印刷业、木材加工业、其它制造业、纺织、服装、皮革制造业、食品生产、饮料和烟酒业。

采矿业取采矿业(能源)和采矿业(非能源)排放系数的简单平均；黑色金属冶炼及压延加工业和有色金属冶炼及压延加工业取金属冶炼及压延加工业的排放系数；仪器仪表及文化、办公用品制造业和通信设备、计算机及其他电子设备制造业取仪器仪表及无线电通讯设备制造业的排放系数；医药制造业取化学工业的排放系数。

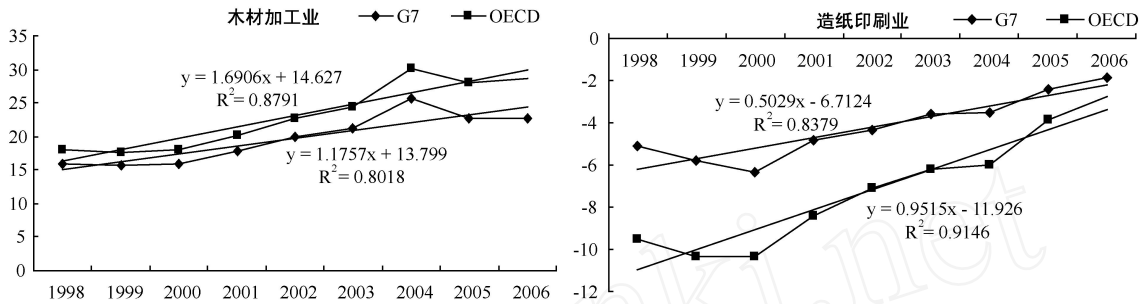


图 1 从发达国家向中国转移的产业示例

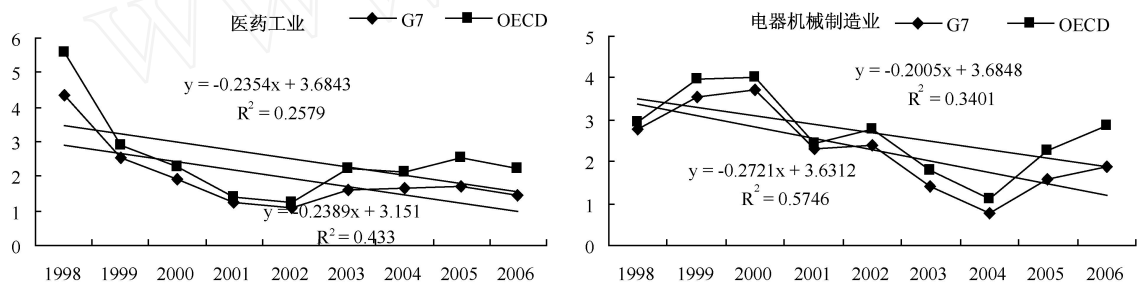


图 2 从中国向发达国家转移的产业示例

我们计算了各行业每年的净出口消费指数;从各行业该指数的变化趋势可以看出,纺织、服装、皮革制造业、木材加工业、造纸、印刷业、金属制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、通信设备、计算机及其它电子设备制造业、机械制造业等 8 个行业的净出口消费指数有向上的趋势,并且各曲线回归方程的 R^2 值比较大,说明这些行业存在显著的向中国产业转移。在这些产业中,金属制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、通信设备、计算机及其它电子设备制造业 4 个行业属于高 CO_2 排放系数行业,而另外 4 个行业属于低 CO_2 排放系数行业。另外,属于高 CO_2 排放系数行业的化学工业、石油加工业等有从发达国家被转移的趋势,但是其 R^2 值比较小,在统计上不是很显著;属于高 CO_2 排放系数行业的其它非金属矿物制品业的净出口消费指数呈显著向上趋势,但是此行业对于 G7 国家的净出口消费指数有向下的趋势;属于低 CO_2 排放系数的塑料、橡胶业的净出口消费指数不显著。总的来看,发达国家向中国转移的产业并不仅仅是污染产业,同时也向中国转移了低排放系数的“干净”产业,发达国家向中国转移产业的原因并不仅仅出于环境规制等因素。其它制造业、采矿业、食品生产、饮料和烟酒业、电气机械及器材制造业、医药制造业等 5 个行业的净出口消费指数有向下的趋势,并且各曲线的 R^2 值比较大,这说明这些行业有向发达国家转移的趋势。其中,医药制造业属于高排放系数行业,而其他 4 个行业属于低排放系数行业。

因此,中国和发达国家之间的产业转移是双向的:发达国家向中国不仅转移了“污染”产业,也转移了“干净”行业;中国也向发达国家转移了“污染”产业和“干净”产业。但是从产业数量来看,中国制造的趋势显著增加,从发达国家转移到中国来的产业数目要多于从中国转移出去产业。

由于篇幅的限制,我们在图 1、图 2 中分别只列举了 2 个从发达国家转移到中国来的产业和 2 个从中国转移到发达国家的产业。

五、计量回归结果分析

(一) 描述性分析

表 2 给出了各主要变量的统计性描述。我们发现高、低 CO₂ 排放组行业的单位产出 CO₂ 排放量相差较大,高 CO₂ 排放组的平均值为 14.49 吨 CO₂/万元,而低 CO₂ 排放组的平均值为 4.15 吨 CO₂/万元;其次,我们发现相对于低 CO₂ 排放组,高 CO₂ 排放组具有较高的人均产出、研发强度、企业规模和资本强度;但具有较低的贸易开放度及与发达国家进、出口贸易的比重也低。显然,高投资、大规模的企业并不能带来较低的单位产出的 CO₂ 排放;较大的人均产出还会带来高能耗和高排放。这个结论和陈诗一(2009)的结论相似。从贸易开放度和各产业与发达国家进、出口贸易量占总进、出口的比值来看,我们发现贸易开放度越高的、向发达国家进出口比重越大的产业,其单位产出的 CO₂ 排放更低。同时,我们也发现人均产出和 CO₂ 排放量、CO₂ 排放强度成正相关的趋势即低 CO₂ 排放组具有低的人均产出,高 CO₂ 排放组具有高的人均产出。

表 2 主要变量的统计性描述

变量	单位	低 CO ₂ 排放组				高 CO ₂ 排放组			
		均值	标准误	最大值	最小值	均值	标准误	最大值	最小值
lnCO ₂	吨	17.43	0.92	19.45	15.69	18.29	1.46	20.63	15.46
C	吨 CO ₂ /万元	4.15	5.34	24.37	0.24	14.49	17.34	68.44	0.31
lny	元/人	10.38	0.56	11.57	9.04	10.51	0.57	11.63	9.24
rd	—	0.03	0.02	0.10	0.00	0.04	0.03	0.22	0.01
lnsize	元/个	16.13	0.61	17.68	15.00	16.16	0.83	17.88	13.86
lnzib	元/人	10.99	0.73	13.16	10.11	11.18	0.57	12.46	10.10
trade	—	1.86	2.78	12.51	0.23	1.34	1.68	7.35	0.01
ex7	—	0.50	0.09	0.68	0.32	0.35	0.15	0.54	0.00
im7	—	0.40	0.21	0.85	0.02	0.34	0.19	0.60	0.00
exoecd	—	0.65	0.09	0.83	0.43	0.52	0.19	0.72	0.00
imoeed	—	0.55	0.21	0.97	0.14	0.53	0.23	0.89	0.00

注:ex7、exoecd、im7、imoeed 分别是对 G7 国和 OECD 出口占各行业总出口和进口占各行业总进口的比重。

(二) 回归结果分析

表 3 是因变量为 CO₂ 排放量自然对数的回归结果。模型 1 是两步法系统 GMM 估计结果,AR(1) 检验拒绝原假设而 AR(2) 检验接受原假设,即干扰项不存在二阶序列相关的原假设成立;Sargan 统计量不显著说明工具变量的选择是可靠的。从模型 1 的结果来看,前期的 CO₂ 排放量和当期的 CO₂ 排放量正相关,这说明 CO₂ 排放是一个连续、累积的调整过程。贸易开放度变量显著地和 CO₂ 排放量负相关,这说明中国的国际贸易对环境影响是正面的,在国际贸易对环境影响的三个效应中,正面效应的影响要大于负面效应的影响。人均产出的一次项、二次项的系数分别为 2.075 和 -0.115,并且在统计上显著,这说明人均产出和 CO₂ 排放量成显著的倒 U 型,环境库兹尼兹假说成立。模型 2 和模型 3 分别报告了 Pooled OLS 估计和随机效应估计,这两种方法估计的结果和 GMM 估计的结果基本上一致,只是 GMM 估计的结果相对更显著。

为了检验模型 1 的稳健性,我们在模型 1 的基础上加入一些控制变量。模型 4 是在模型 1 的基础上分别增加研发强度、企业规模、资本强度变量;从 AR(1)、AR(2) 及 Sargan 的检验值来看,干扰项不存在二阶序列相关的原假设成立,工具变量的选择是可靠的。从模型 4 的估计结果来看,贸

易开放度、人均产出的一次和二次项的估计系数和显著度都和模型 1 相似,这说明了国际贸易显著减少 CO₂ 排放量,环境库兹尼兹假说成立的结论是可靠的。研发强度和 CO₂ 排放量正相关,但不显著,这和我们的预期相反;企业研发强度不是影响 CO₂ 排放的主要因素,其主要原因可能有:各工业行业研发的主要目的并没有投在节能减排上;另外,工业行业研发的相对值都比较小,高、低排放组的研发经费占增加值的比重都只有 4%和 3%,它并不是影响 CO₂ 排放量的主要因素。企业规模变量和 CO₂ 排放量显著正相关,这说明企业的规模越大,其 CO₂ 的排放量越多,在 CO₂ 排放量方面,企业并没有利用规模经济的好处。资本强度变量和 CO₂ 排放量显著负相关,说明企业的物质资本投资有利于节能减排。

表 3 因变量为 CO₂ 排放量自然对数的回归结果

解释变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
	GMM	OLS	RE	GMM	GMM	OLS	GMM	OLS
C _{it-1}	0.826*** (21.57)	0.999*** (92.19)	0.986*** (63.28)	0.984*** (29.74)	0.987*** (23.66)	0.997*** (76.36)	0.919*** (8.59)	1.001*** (84.01)
trade	-0.009*** (-4.58)	-0.006 (-0.92)	-0.008 (-0.99)	-0.015*** (-4.71)	-0.001 (-0.58)	-0.006 (-1.00)	-0.025*** (-3.02)	-0.008 (-1.20)
y	2.705*** (10.59)	1.571* (1.94)	1.729** (1.98)	3.99*** (3.33)	2.609*** (3.45)	1.608* (1.95)	2.777* (1.71)	1.734** (2.10)
y ²	-0.115*** (-9.78)	-0.070* (-1.83)	-0.077* (-1.87)	-0.184*** (-3.25)	-0.116*** (-3.22)	-0.072* (-1.84)	-0.134* (-1.81)	-0.078** (-1.98)
rd				0.321 (0.56)				
size				0.056*** (3.37)				
zib				-0.125* (-1.79)				
ex7					0.371* (1.78)	0.013 (0.10)		
im7					-0.174*** (-2.63)	-0.060*** (-0.78)		
exoeed							0.003 (0.01)	0.098 (0.97)
imoeed							-0.225 (-0.99)	-0.092 (-1.30)
AR(1)	-1.74(0.08)			-1.69(0.09)	-1.79(0.07)		-1.80(0.07)	
AR(2)	-0.20(0.84)			-0.34(0.73)	-0.35(0.73)		-0.61(0.54)	
Sargan test	11.7621(1.00)			14.86(1.00)	15.81(1.00)		13.34(1.00)	
转折点	11.76	11.22	11.23	10.84	11.25	11.17	10.36	11.12
F(wald)		258.91 (0.00)	5077.61 (0.00)			1708.21 (0.00)		1721.43 (0.00)
样本	160	160	160	160	160	160	160	160

注:回归系数括号里的数为 t(z) 值,AR、Sargan test 和 F(w) 统计量括号里的数分别为 prob > z、prob > z 和 prob > F(chiz) 的值;*、**、***表示 10%、5%和 1%水平上显著;GMM、OLS、RE 分别是两步法系统 GMM 估计、混合最小二乘估计、随机效应估计;在两步法系统 GMM 估计中,所有回归中的内生变量为 C_{it-1}、trade,对差分方程的 GMM 类型,两内生变量的两阶及更多阶的滞后项为工具变量。

表 4 因变量为单位产出 CO₂ 排放量的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
解释变量	GMM	OLS	RE	GMM	GMM	OLS	GMM	OLS
C _{it-1}	0.914*** (49.58)	0.992*** (83.52)	0.980*** (56.17)	0.904*** (36.00)	0.966*** (112.05)	1.002*** (72.96)	0.965*** (72.04)	0.995*** (76.62)
trade	-0.634*** (-12.29)	-0.099 (-1.49)	-0.088 (-0.91)	-0.633*** (-8.23)	-1.357*** (-3.00)	-0.164** (-2.26)	-0.622* (-1.89)	-0.118* (-1.66)
y	-17.034*** (-3.56)	-2.603 (1.94)	-3.806** (-0.35)	-19.19*** (-3.11)	-22.97** (-2.24)	-0.609** (-0.06)	-17.758** (-2.55)	-1.293** (-0.13)
y ²	0.203 (0.97)	0.135 (0.30)	0.192 (0.40)	0.458* (1.67)	0.638 (1.30)	0.052 (0.12)	0.30 (0.90)	0.077 (0.17)
rd				9.20*** (2.88)				
size				-0.799 (-0.90)				
zib				0.233 (0.61)				
ex7					24.97*** (6.04)	3.047** (2.15)		
im7					-15.51*** (-7.42)	-1.12 (-1.23)		
exoeed							14.596*** (9.20)	0.936 (0.77)
imoeed							-9.62*** (-7.55)	-0.374 (-0.45)
AR(1)	-1.017(0.31)			-0.99(0.32)	-0.99(0.32)		-1.03(0.30)	
AR(2)	-1.18(0.24)			-1.09(0.28)	-1.18(0.24)		-1.18(0.24)	
Sargan test	16.71(1.00)			9.47(1.00)	16.01(1.00)		16.16(1.00)	
F(wald)		2029.57 (0.00)	3655.05 (0.00)			1377.95 (0.00)		1341.00 (0.00)
样本	160	160	160	160	160	160	160	160

注：回归系数括号里的数为 t(z) 值，AR、Sargan test 和 F 统计量括号里的数分别为 prob > z、prob > z 和 prob > F 的值；*、**、*** 表示 15%、10%、5% 和 1% 水平上显著；GMM、RE、OLS 分别是两步法系统 GMM 估计、随机效应估计和混合最小二乘估计；在两步法系统 GMM 估计中，所有回归中的内生变量为 C_{it-1}、y，对差分方程的 GMM 类型，两内生变量的两阶及更多阶的滞后项为工具变量。

我们将回归方程的因变量换成单位产出的 CO₂ 排放量，并对此进行了回归，回归结果见表 4。从模型 1 的结果来看，前期的单位产出的 CO₂ 排放量和当期单位产出的 CO₂ 排放量正相关，这说明单位产出的 CO₂ 排放是一个连续、累积的调整过程。贸易开放度变量显著地和单位产出的 CO₂ 排放量负相关，这说明国际贸易对环境的影响是正面的，并且和表 4 的结论一致。人均产出的二次项与 CO₂ 排放量之间正相关，但不显著，人均产出与单位产出的 CO₂ 排放量成负相关，人均产出与单位产出不呈倒 U 型的环境库兹尼兹曲线，这和 CO₂ 排放量的结果不同。模型 2 和模型 3 分别报告了

Pooled OLS 估计和随机效应估计,这两种方法估计的结果和 GMM 估计的结果基本上一致。在模型 4 中,研发强度对单位产出的 CO₂ 排放量的影响为正,但不显著,这结果再次印证了各工业行业的研发并没有提高其节能减排质量。企业规模对单位产出 CO₂ 排放量的影响为负,但不显著;资本强度对单位产出 CO₂ 排放量的影响为正,但不显著。模型 5、6、7、8 分别是在模型 1 的基础上增加与 G7 国家和 OECD 进、出口变量,模型 6 和模型 8 分别是 OLS 估计,它们的结果分别和模型 5、模型 7 相似。从模型 5 和模型 7 可以得到,贸易开放度、人均产出的一次和二次项的估计系数和显著度都和模型 1 相似,这说明了模型 1 的估计结果是可靠的。向 G7、OECD 出口显著增加了单位产出的 CO₂ 排放量,而从 G7、OECD 进口显著减少了单位产出的 CO₂ 排放量,这个结论和表 4 结论相似。

六、结 论

本文实证检验了发达国家是否通过国际贸易途径向中国转移了污染产业,并在此基础上分析了国际贸易等因素对中国工业行业 CO₂ 排放量的影响,我们得到了几个主要结论。第一,中国参与国际垂直专业化分工的程度显著增加,表现为在中国各行业单位出口产品所隐含的 CO₂ 中,国内投入隐含的 CO₂ 所占的比例减少,而进口中间品隐含的 CO₂ 所占比例增加。第二,发达国家向中国转移的产业并不仅仅是污染产业,同时也向中国转移了低排放系数的“干净”产业;中国并不是发达国家的污染天堂。第三,中国工业行业的人均产出和 CO₂ 排放量存在显著的倒 U 型“环境库兹尼兹”曲线,这表明随着人均产出的提高,工业行业的 CO₂ 排放量将减少。第四,对主要发达国家的出口变量与 CO₂ 排放量正相关,这体现了贸易对环境影响的规模效应;同时,对主要发达国家的进口变量与 CO₂ 排放量负相关,表示从主要发达国家的进口替代了部门国内生产,从而节省了国内的 CO₂ 排放量。第五,中国工业行业的研发投入没能减少其 CO₂ 排放,因此,中国企业应该提高节能减排投资的效率。

总的来看,中国并没有通过国际贸易成为发达国家的“污染产业天堂”,中国也不需要为了减少 CO₂ 排放而去限制国际贸易等国际经济活动。在全球垂直专业化分工趋势加强的情况下,中国需要积极参与国际贸易等国际经济活动,具有全球资源配置与全球治理的战略思维。为了在全球经济交往中实现全球温室气体减排的目标,发展中国家需要与发达国家联手协作以构建一个更公平、合理的国际经济新环境;碳排放权及其国际市场的建立可能为建立这个国际经济新秩序提供了新思路。根据科斯(Coase, 1960)的产权理论,在交易费用为零的情况下,只要各国的 CO₂ 排放权得到明确界定,不论这种初始排放权属于发达国家还是发展中国家,就算发达国家向发展中国家转移了污染产业,这种资源的全球配置也是最有效率的。但是在交易费用不可能为零,并且缺乏一个全球性的权威机构去界定、执行和监督的情形下,不同 CO₂ 排放权的制度安排有不同的效率,各国也难以公平地实现全球温室气体减排的目标;因此,这些问题给我们的理论研究提供了新的思路。

参考文献

- 蔡昉、都阳、王美艳,2008:《经济发展方式转变与节能减排内在动力》,《经济研究》第 6 期。
陈诗一,2009:《能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展》,《经济研究》第 4 期。
陈勇、李小平,2006:《中国工业行业的面板数据构造与资本深化评估》,《数量经济技术经济研究》第 10 期。
国务院发展研究中心课题组,2009:《全球温室气体减排:理论框架和解决方案》,《经济研究》第 3 期。
陆劲,2009:《环境规则影响了污染密集型商品的贸易比较优势吗?》,《经济研究》第 4 期。
沈利生、唐志,2008:《对外贸易对我国污染排放的影响》,《管理世界》第 6 期。
王姝,2008:《国际贸易、FDI 与污染转移》,复旦大学博士论文。
张友国,2009:《中国贸易增长的能源环境代价》,《数量经济技术经济研究》第 1 期。

- Ang J. , 2009, "CO₂ Emissions, Research and Technology Transfer in China", *Ecological Economics*, doi:10.1016/j.ecolecon.2009.05.002.
- Antweiler, W. , Copeland, B. , and Taylor, M. , 2001, "Is Free Trade Good for the Environment?", *American Economic Review* 91 (4) , 877—908.
- Coase, R. , 1960, "The Problem of Social Cost", *Journal of Law and Economics* 3, 1—44.
- Cole, M. , 2004, "Trade, the Pollution Haven Hypothesis and the Environmental Kuznets Curve: Examining the Linkages", *Ecological Economics* 48 (1) , 71—81.
- Cole, M. , Elliott, R. , and Wu, S. , 2008, "Industrial Activity and the Environment in China: an Industry-level Analysis", *China Economic Review* 19 , 393—408.
- Dean J. , Fung, K. , and Wang Z. , 2007, "Measuring the Vertical Specialization in Chinese Trade", U. S. International Trade Commission, Office of Economics Working Paper, No. 2007-01-A.
- Dean J. , Mary, E. , and Hua Wang, 2009, "Are Foreign Investors Attracted to Weak Environmental Regulations? Evaluating the Evidence from China?", *Journal of Development Economics* 90, 1—13.
- Grossman, G. , Krueger, A. , 1991, "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement", National Bureau of Economic Research, Working Paper Vol. 3914.
- Jiahua Pan, Jonathan Phillips and Ying Chen, 2008, "China's Balance of Emissions Embodied in Trade: Approaches to Measurement and Allocating International Responsibility", *Oxford Review of Economic Policy* 24(2) , 354—376.
- IEA, 2008, "CO₂ Emissions from Fuel Combustion", <http://www.iea.org/Textbase/about/copyright.asp>.
- Julio Sánchez-Chávez and Rosa Duarte, 2004, "CO₂ Emissions Embodied in International Trade: Evidence for Spain", *Energy Policy* 32 , 1999—2005.
- Koopman, R. , Wang Z. , and Wei S. , 2008, "How Much of Chinese Exports is Really Made in China? Assessing Domestic Value-added with Processing Trade is Pervasive", NBER Working Paper, No. 14109.
- List, J. , McHone, W. , and Millimet, D. , 2004, "Effects of Environmental Regulation on Foreign and Domestic Plant Births: Is There a Home Field Advantage?", *Journal of Urban Economics* 56 , 303—326.
- Mongelli, I. , Tasselli, G. , and Notarnicola, B. , 2006, "Global Warming Agreements, International Trade and Energy/Carbon Embodiments: An Input-output Approach to the Italian Case", *Energy Policy* 34 , 88—100.
- Tao Song, Tingguo Zheng, Lianjun Tong, 2008, "An Empirical Test of the Environmental Kuznets Curve in China: A Panel Cointegration Approach", *China Economic Review* 19 , 381—392.
- Windmeijer, F. , 2005, "A Finite Sample Correction for the Variance of Linear Two-Step GMM estimators", *Journal of Econometrics* , Vol. 126 , No. 1 , 25—51.

International Trade、Pollution Industry Transfer and Chinese Industries' CO₂ Emissions

Li Xiaoping^{1,2} and Lu Xianxian¹

(1: Zhongnan University of Economics and Law, 2: Institute of Finance and Trade Economics of CASS)

Abstract: By trade, developed countries may specialize in "clean" product and import pollution products from developing countries, then transfer the pollution industries to developing countries. If China has become Pollution Industry Haven by trade, what is the effect of trade on Chinese's CO₂ Emissions? The article explores it by using the Environmental Input-Output Technique and the trade data between twenty industries of China and G7 countries and OECD. We find that International Trade may decrease the industries' CO₂ Emissions.

Key Words: International Trade; Pollution Industry Transfer; CO₂ Emissions

JEL Classification: F140, F415

(责任编辑:詹小洪)(校对:晓鸥)