

# 经济增长与贸易隐含碳

——基于生产侧与消费侧碳排放的视角

齐绍洲 张振源\*

**摘要:**在贸易全球化和气候变化问题日益严重的今天,贸易隐含碳的研究一直是学术界的热点。本文在理论层面分析了经济增长在生产侧和消费侧对碳排放影响的差异以及贸易隐含碳出现的原因,并构建了计量回归模型,借助面板数据对理论分析进行了验证,得到的结论包括:生产侧碳排放存在库兹涅茨曲线,碳排放随着经济增长而增加,且增速逐渐放缓;消费侧碳排放不存在库兹涅茨曲线,碳排放与经济增长呈现线性正相关的关系;贸易隐含碳(净出口向)与经济增长呈现负相关关系,且随着经济增长,贸易隐含碳(净出口向)下降的速度会逐渐放缓;贸易隐含碳与本国的经济增长相关度不大,而与该国在国际贸易中的表现关系更为紧密,在整个样本中,“向底线赛跑”效应明显,贸易开放会显著提高一国的贸易隐含碳。我们应该把握经济增长与贸易隐含碳的客观规律,意识到国际贸易中的贸易隐含碳问题,运用合理的政策工具,杜绝“向底线赛跑”的现象出现,共同应对气候变化问题。

**关键词:**贸易隐含碳;经济增长;生产侧碳排放;消费侧碳排放

## 一、引言

当前,中国的二氧化碳排放已经超越美国跃居世界第一,与此同时,世界贸易组织的数据显示,中国货物贸易总额占世界货物贸易总额的比重同样位居世界首位。巨大的碳排放和巨大的贸易总额的背后,意味着同样体量巨大的贸易隐含碳。贸易隐含碳这一概念的兴起源于投入产

---

\*齐绍洲,武汉大学经济与管理学院,武汉大学国际问题研究院,武汉大学气候变化与能源经济研究中心,碳排放权交易湖北省协同创新中心,邮政编码:430072,电子信箱:cneuus@126.com;张振源,武汉大学国际问题研究院,武汉大学气候变化与能源经济研究中心,邮政编码:430072,电子信箱:zzy2897@sina.com。

本文系国家重点研发计划“支撑碳排放交易的技术及标准集成应用示范与信息化服务平台开发”(2016YFF0204405)的阶段性成果。感谢匿名审稿人的宝贵意见,文责自负。

出分析在环境科学领域的应用。特别是多区域投入产出表,可以在刻画区域间产品流动的同时,反映出不同区域的产业结构、技术水平以及碳强度,从而为贸易隐含碳的计算提供了可能。

目前针对贸易隐含碳的研究大多从单边(陈迎等,2008;魏一鸣等,2008;闫云凤等,2013;赵玉焕等,2014;Su & Thomson,2016)、双边(Hayami et al.,1999;赵玉焕、李洁超,2013;张传国、洪琴,2013)或全球贸易(Peters,2008;Peters & Hertwich,2008;Hertwich & Peters,2009;周新,2010;Meng et al.,2015)的角度去测算研究主体贸易隐含碳的体量、流向以及行业分布。就研究方法而言,主要以LMDI、SDA等分解技术为主,与投入产出分析结合,将贸易隐含碳的影响因素分为规模、结构和技术三大效应(王媛等,2011;杜运苏、孙辉煌,2012;彭水军等,2015)。以上这些研究揭示了关于贸易隐含碳的一些基本现状和影响因素,但也存在明显的不足。首先,从研究的出发点来看,已有研究都是从国际贸易本身出发,忽视了贸易背后的深层因素,换句话说,已有研究更多关注的是贸易隐含碳是怎样发生的,而没有回答贸易隐含碳为何会发生这一问题;其次,从研究方法来看,上述研究大多还停留在测算和因素分解的层面,缺乏进一步的计量回归分析。因此,本文尝试从生产侧碳排放和消费侧碳排放的角度出发,通过对比经济增长在生产侧和消费侧对碳排放影响的异同,解释贸易隐含碳出现的原因,并进一步构建贸易隐含碳与经济增长的计量回归模型,探讨贸易隐含碳与经济增长的关系。

## 二、研究思路与模型设定

### (一)研究思路

本文用生产侧碳排放与消费侧碳排放的差值来衡量一个国家的贸易隐含碳。其中生产侧碳排放也叫生产者责任制的碳排放,就是碳排放责任全部由产品和服务的直接生产者承担,其计算主要依赖于能源消费的测算,通过将一个国家各种化石能源的消耗量、低位发热值、碳排放系数、碳氧化率以及转换因子相乘并加总,得到该国的生产侧碳排放。而消费侧碳排放也被称为消费者责任制的碳排放,就是碳排放的责任应该由产品和服务的消费者承担,其测算主要是在生产侧碳排放的基础上,结合投入产出表,计算一个国家对某种商品或服务的消费量以及其对应的碳强度,进而得到该国的消费侧碳排放<sup>①</sup>。

图1展示的是1995-2011年间中美日等六个全球主要国家和地区贸易隐含碳的变化趋势,各国家或地区的贸易隐含碳以该国生产侧碳排放与消费侧碳排放的差值来度量。可以看到,在整个研究期间,我国贸易隐含碳呈现出平稳——上升——下降的趋势,其中,1995-2002年间,我国贸易隐含碳较为平稳;从2002年开始一路上升,在2007年达到最高点12.37亿吨,

<sup>①</sup>能源消费分为生产消费和生活消费,在具体的计算过程中,不同学者对生活消费的处理方法不同,本文参考Wiebe和Yamano(2016)的研究,将生活消费所造成的碳排放同时纳入生产侧碳排放与消费侧碳排放。

而2007年我国生产侧碳排放为63.17亿吨,这意味着国内生产活动所产生的二氧化碳有19.6%是因净出口而被其他国家消费掉了;2009年,贸易隐含碳减少至8.71亿吨,随后又逐渐增加到2011年的9.96亿吨。贸易隐含碳的上升代表着我国二氧化碳生产与消费间的持续失衡,这与期间贸易顺差的扩大、外商投资的增加以及发达国家落后产能向我国的转移有着很大关系,而2009年贸易隐含碳的下降一方面是由于全球经济危机导致的净出口减少,另一方面也与我国刺激内需导致的碳消费上升有关。

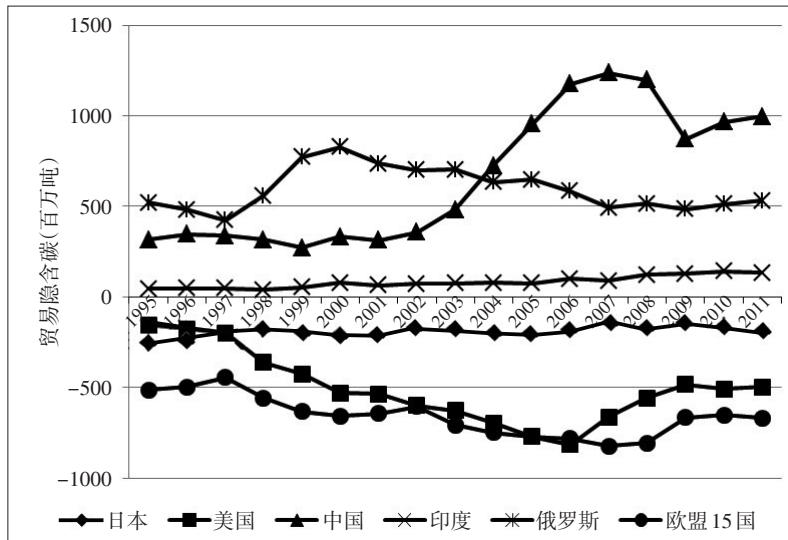


图1 1995-2011年中美日等六个国家和地区贸易隐含碳的变化趋势

印度和俄罗斯也一直都是碳净出口国,其中俄罗斯的贸易隐含碳一直位于5亿吨以上(1996年和1997年除外),最高值是2000年的8.27亿吨,而当年俄罗斯全国生产侧碳排放仅为14.96亿吨,这说明2000年在俄罗斯本土由能源消费引起的二氧化碳排放中,有高达60%的比例不是因为国内需求而产生的。印度的贸易隐含碳则一直在4千万吨上下浮动。作为发达国家的美国、日本和欧盟15国则一直是碳净进口国,其中欧盟15国的贸易隐含碳甚至在2007年和2008年下探至8亿吨以下,意味着欧盟15国由于本土需求导致的二氧化碳排放中,25%的比例是由其他国家买单的。

可以看到,生产侧碳排放和消费侧碳排放实际上反映了一国对二氧化碳的“生产能力”和“消费能力”。就全球而言,生产侧碳排放和消费侧碳排放犹如硬币的两面,必然相等,而具体到一个国家时,由于各个国家参与国际贸易的方式、地位与深度都不相同,加之各个国家在技术水平和能源效率上存在差异,二氧化碳的生产能力和消费能力便不再完全一致,贸易隐含碳就不可避免地出现了。因此,本文拟先构建碳排放与经济增长之间的计量回归模型,在分析经济增长对两侧碳排放的差异性影响的基础上,进一步构建理论模型探讨经济增长与贸易隐含碳的关系。

## (二)模型的构建

以 STIRPAT 模型为基础,结合库兹涅茨曲线的思想,本文构建的碳排放与经济增长的计量回归模型如下:

$$c_{it} = a_1 y_{it} + a_2 y_{it}^2 + X_{it} \beta_1 + \delta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,  $i$  表示国家或地区截面单元,  $i=1, 2, \dots, 60$ ;  $t$  表示时间;  $c_{it}$  为各国家的 CO<sub>2</sub> 排放量,分为生产侧碳排放和消费侧碳排放;  $y_{it}$  表示各国家或地区人均实际 GDP,反映各国人均收入。 $\eta_t$  表示时间非观测效应,主要反映除经济增长以外,其他随时间变化的未观测因素,如环境政策、能源价格、节能减排技术的变化等。 $\delta_i$  表示地区非观测效应,反映了国家之间持续存在的差异,诸如由于资源禀赋的差异所导致的不同的碳排放模式、规制的差别、偏好差异等。 $\varepsilon_{it}$  是与时间和地区都无关的随机误差项。 $X$  是控制变量,包括人口规模、产业结构、能源结构、城市化水平、资源禀赋、能源效率以及技术水平。

进一步地,在上述模型回归结果基础上,根据不同变量对两侧碳排放的影响方向及程度的不同,针对性地构建贸易隐含碳与经济增长的计量回归模型如下:

$$ec_{it} = a_3 y_{it} + a_4 y_{it}^2 + X_{it} \beta_2 + \delta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中,  $i$  同样表示国家或地区截面单元,  $t$  表示时间;  $ec_{it}$  为各国的贸易隐含碳,  $X$  是控制变量。

## 三、变量选取与数据说明

生产侧 ( $pb$ ) 和消费侧 ( $cb$ ) 碳排放数据来自 OECD 数据库,该数据由 Wiebe 和 Yamano 于 2016 年更新,借助国际能源署 2015 年更新的 CO<sub>2</sub> 排放数据以及 OECD 的 ICIO (Inter-Country Input-Output) 数据库,计算得到了全球 60 多个国家和地区 1995 年至 2011 年间生产者责任制和消费者责任制下的碳排放,这些国家或地区涵盖了大部分 OECD 国家以及部分非 OECD 国家,其 2011 年的人均 GDP (按 2010 年不变价计) 从柬埔寨的 825 美元到卢森堡的 104127 美元不等,较为全面地刻画了不同经济水平下的国家或地区的两侧碳排放状况。考虑到其他数据的可得性,本文选取了其中 60 个国家和地区的数据作为本文的研究样本。

贸易隐含碳 ( $ec$ ) 用生产侧碳排放与消费侧碳排放之差来度量,当一个国家的  $ec \geq 0$  时,我们称该国家为碳净出口国;当  $ec < 0$  时,我们称该国为碳净进口国。

经济水平用人均 GDP ( $y$ ) 来表征。在已有的研究经济增长与碳排放关系的文献中,人均 GDP 都是被使用最频繁的一个变量,因为国内生产总值作为经济发展的第一指标可以较为准确与全面地体现出一个国家或地区的经济发展水平。本文的人均 GDP 来源有两个,第一个是世界银行数据库所公布的各国按 2010 年不变价美元计的人均 GDP,用  $y_1$  表示;第二个是根据 IMF 所公布的 2010 年按消费者购买力平价计的各国名义人均 GDP,结合 1995-2011 年间真实

人均GDP增长率计算得到,用 $y_2$ 表示。本文采用 $y_1$ 作为解释变量进行回归分析,并用 $y_2$ 进行稳健性检验。

人口规模( $pop$ )用世界银行公布的各国人口总数并取自然对数来表示。本文的计量回归模型是以STIRPAT模型为基础进行构建的,而STIRPAT模型是在IPAT模型的基础上发展起来的。IPAT模型认为影响环境的因素由人口、富裕程度和技术构成,I、P、A、T即分别对应着环境压力、人口数量、富裕度和技术。IPAT方程被广泛应用到人口因素对环境的影响方面,并通过改变一个因素而保持其他因素固定不变来分析问题,因此,可以说人口规模是研究环境相关问题时不可遗漏的重要影响因素。

产业结构( $is$ )用工业增加值占比来表示。以钢铁、石化、水泥等高能耗行业为代表的工业是产生碳排放的主要部门,随着经济的不断发展,产业结构逐渐由工业主导向更加清洁化的服务业主导升级,导致碳排放相应地降低,这便是结构效应的一个体现。本文在控制变量中加入了工业增加值占GDP百分比的自然对数,以考察产业结构对碳排放的影响,数据来源为世界银行数据库。

资源禀赋( $eim$ )用世界银行数据库中能源净进口占能源消耗量的百分比来表示,此值越小说明该国的化石能源储量越丰富。根据要素禀赋理论,化石能源储量丰富的国家,在产业选择、生产技术上相对不具有清洁化的倾向,因此其碳排放相对较高。虽然一国的资源禀赋是不随时间变化的,但实际上由于技术的发展,一国化石能源的探明储量是在不断变化的,而能源净进口占比恰好是反映一国化石能源探明储量和能源战略的综合性指标。

贸易开放度( $open$ )是另一控制变量,用各国进出口贸易总额占GDP的比重来衡量。贸易开放对一个国家环境的影响存在着两种假说:一是“向底线赛跑假说”(Esty & Dua, 1997; Esty & Gentry, 1997),它是指作为全球贸易开放以及贸易自由化的参与者,各国为保持或增强国际竞争力,会降低各自的环境规制标准,即所谓的“向底线赛跑”,这样做的结果是环境的恶化;二是“贸易的环境收益假说”(Vogel, 1995),即贸易开放在为东道国带来先进的技术和管理经验的同时,也为东道国提供了了解国际环境标准和国别标准以及国外消费者环境偏好的机会,东道国借机消化吸收后可以改进其自身的生产方式,进而提高环境标准、改善环境管理并加强环境治理措施。这两种假说都认为贸易开放度通过影响环境规制,进而影响污染排放以及碳排放。

本文用对外贸易总额( $vot$ )、贸易顺差( $ts$ )、能源、矿产与制造业贸易顺差( $t\_str1$ )以及服务业贸易顺差( $t\_str2$ )四个变量,分别从对外贸易的体量、贸易平衡状况、对外贸易结构三个维度刻画了一个国家参与国际贸易的方式、地位与深度。国际贸易是贸易隐含碳的载体,控制这一变量可以更好地考察经济增长与贸易隐含碳之间的关系。国际贸易的相关数据来自世界贸易组织数据库。

技术水平是又一个控制变量。大量研究显示,技术效应是导致碳排放增速减缓甚至下降的最大推手,本文选取两个指标来体现技术水平:  $ee$  是能源效率,取自世界银行数据库中各国单位能源消耗的产值,用来刻画一个国家在能源利用上的水平,是体现一个国家在能源技术上的最直接指标;  $tech$  是高科技产品出口占比,来自世界银行数据库,用来衡量一个国家的整体技术水平。

城市化水平 ( $urb$ ) 用城市人口占总人口的百分比来表示。城市化、工业化阶段的能源消费特征是增长快和需求刚性。城市化的过程中,大规模的城市基础设施和住房建设会大大推动水泥、钢铁等高能耗行业的发展。此外,城市居民人均能源消费量是农村居民的约 3.5~4 倍,因此城市化总体上会造成碳排放的增加。但另一方面,城市化会导致居民教育水平的提高,密集的人口密度也会导致居民向集约的生活方式转型,接受低碳生活的理念,降低碳排放。以上各变量的描述性统计见表 1。

表 1 各变量的描述性统计

变量	样本数	平均值	标准差	最小值	最大值	单位
消费侧碳排放 ( $cbc$ )	1020	370.4	952.5	2.240	6961	百万吨
生产侧碳排放 ( $psc$ )	1020	369.9	964.8	1.470	7956	百万吨
人均 GDP ( $y_1$ )	1020	24524	20887	342.2	111069	美元
人均 GDP ( $y_2$ )	1020	26681	17455	1076	96289	PPP 国际元
人口规模 ( $pop$ )	1020	76798	216777	267.4	1.348e+06	百万人
产业结构 ( $is$ )	982	31.10	8.741	6.835	74.11	%
资源禀赋 ( $eim$ )	1020	0.00659	1.481	-8.496	1	%
贸易开放度 ( $open$ )	967	63.14	11.15	25.25	93.12	%
高科技产品出口占比 ( $tech$ )	991	16.66	14.80	3.45e-05	74.99	%
能源效率 ( $ee$ )	1020	8.690	3.221	2.174	24.71	2011 年不变价 PPP 美元/千克石油当量
城市化水平 ( $urb$ )	1020	70.35	17.70	17.31	100	%
贸易总额 ( $vot$ )	1012	291224.6	474986.2	1716	3748532	美元
贸易顺差 ( $ts$ )	1012	-4465.673	90151.24	-892110	298126	美元
能源、矿产与制造业贸易顺差 ( $t\_str1$ )	999	-3642.345	91649.73	-886012.1	345304.2	美元
服务业贸易顺差 ( $t\_str2$ )	1001	2756.697	20587.93	-61333.23	197363.4	美元

#### 四、经济增长在生产侧和消费侧对碳排放的影响

本文分别使用 OLS、固定效应对模型进行了回归,在固定效应模型中加入了时间虚拟变量和地区虚拟变量以控制时间固定效应和个体固定效应。同时,为解决内生性问题,本文又使用人均 GDP 的滞后两期值作为人均 GDP 的工具变量,使用两阶段 OLS 估计方法对模型进行了回归。具体而言,下文中模型(1)、(3)、(5)的自变量不含人均 GDP 自然对数的二次项,模

型(2)、(4)、(6)的自变量包含人均GDP自然对数的二次项;模型(1)、(2)采用混合OLS回归,模型(3)、(4)采用固定效应(FE)回归并控制了时间固定效应和个体固定效应,模型(5)、(6)采用工具变量两步OLS估计(IV-2SLS)并同样控制了时间固定效应和个体固定效应。

(一)生产侧碳排放与经济增长的回归结果

表2展示的是生产侧碳排放与经济增长的回归结果。可以看到,六个模型的估计结果较为一致。模型(1)至模型(4)的R<sup>2</sup>逐渐升高,说明方程拟合效果比较理想。在使用了工具变量的模型(5)与模型(6)中,工具变量的Cragg-Donald统计量也均大于临界值,拒绝了工具变量为弱工具变量的假设;同时,由于工具变量与原自变量数量相等,因此也不存在过度识别问题。

表2 因变量为生产侧碳排放自然对数的回归结果

变量	OLS		FE		IV-2SLS	
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)
lny <sub>1</sub>	0.675 (-0.0261)***	2.155 (-0.118)***	0.864 (-0.03)***	1.887 (-0.125)***	0.8939 (-0.0555)***	1.9276 (0.1302)***
(lny <sub>1</sub> ) <sup>2</sup>		-0.0796 (-0.00623)***		-0.0595 (-0.00708)***		-0.0596 (0.008)***
lnpop	2.273 (-0.0547)***	2.314 (-0.0505)***	2.928 (-0.12)***	2.761 (-0.117)***	2.9476 (0.1467)***	2.7853 (0.1252)***
lnis	0.347 (-0.0901)***	-0.0977 (-0.0902)	-0.105 (-0.089)	-0.336 (-0.0899)***	-0.1299 (-1.54)	-0.3681 (0.0806)***
eim	0.0310 (-0.0107)***	0.0327 (-0.0099)***	0.0463 (-0.0104)***	0.0478 (-0.01)***	0.0453 (0.0139)***	0.04651 (0.01369)***
lnitech	0.00106 (-0.00865)	0.000548 (-0.00798)	0.00507 (-0.00803)	0.00199 (-0.00773)	0.00422 (0.0076)	0.0009 (0.00071)
lnurb	0.367 (-0.0656)***	0.127 (-0.0634)**	0.596 (-0.065)***	0.363 (-0.0684)***	0.571 (0.11329)***	0.3302 (0.1051)***
lnopen	-0.131 (-0.0672)*	-0.337 (-0.0641)***	-0.244 (-0.0637)***	-0.367 (-0.063)***	-0.25676 (0.0631)***	-0.3839 (0.0616)***
lnee	-0.641 (-0.0287)***	-0.648 (-0.0265)***	-0.529 (-0.0295)***	-0.555 (-0.0285)***	-0.5454 (-0.0790)***	-0.5756 (0.0768)***
Constant	-11.75 (-0.43)***	-16.15 (-0.526)***	-16.32 (-0.647)***	-18.02 (-0.654)***	-16.6198 (0.82558)***	-18.352 (0.7561)***
个体固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Cragg-Donald 统计量					1513.28	644.89
Observations	940	940	940	940	940	940
R <sup>2</sup>	0.7653	0.8003	0.812	0.826		

注:括号中数值为标准误,\*\*\*、\*\*、\*分别代表在1%水平、5%水平和10%水平下显著;模型(5)与模型(6)中弱工具变量检验10%水平的临界值分别为16.38和7.03。下表同。

人均GDP及其二次项的系数都比较显著且符合预期,即在不加入人均GDP二次项的模

型(1)、(3)、(5)中,人均GDP的系数显著为正,而加入人均GDP二次项的模型(2)、(4)、(6)中,人均GDP的系数显著为正,人均GDP的二次项系数显著为负。这说明在生产侧碳排放的库兹涅茨曲线是存在的,即在经济发展的初期,碳排放随着人均GDP的增加而增加,且由于结构效应和技术效应的作用,增速逐渐减缓;当经济发展到一定水平时,结构效应与技术效应所带来的环境红利已经大于规模效应带来的对环境的破坏,碳排放开始随着人均GDP的增加而降低。但根据二次项顶点公式求得生产侧碳排放达峰时人均GDP的自然对数为16.17,远远超出了样本范围,也就是说,样本中的数据没有体现出碳排放随人均GDP的增加而减少这一趋势,倒U型曲线并没有得到完全的验证,仅仅体现出经济增长带来的环境红利在一定程度上弥补了经济增长对环境的破坏,这一结论也与Peters和Hertwich(2008)、Fernández-Amador等(2017)的研究结果一致。

在模型(6)中,人口规模的系数显著为正,为2.79,同样符合预期。人口总数每变动1%,生产侧碳排放就要上升2.79%,说明人口的规模效应要明显大于其他因素(包括经济增长)对生产侧碳排放的影响。另一方面,城市化水平的系数为0.33,且通过了1%显著性水平检验,这说明人口结构对生产侧碳排放同样存在着正向的影响,城市化所带来的能源需求的提升明显,超过了城市化对居民生活方式和生活理念改变所带来的减排效应。

产业结构的回归系数在不同的模型中结果并不一致。在模型(2)、(3)、(5)中,回归结果不显著,模型(1)中的系数显著为正,而在模型(4)和模型(6)中,该系数则显著为负,这说明产业结构对生产侧碳排放的影响并不明确。

高科技产品出口占比的回归系数并不显著,说明这一指标对生产侧碳排放没有明显的影响。这可以从两个方面得到解释,首先,高科技产品的生产过程并不一定就是清洁的、绿色的,也有可能是高能耗、高排放的,以产品为导向的产业选择未必能甄别真正绿色低碳的产业;其次,在贸易全球化和国际分工进一步细化的今天,高科技产品的生产者和产权所有者往往并不一致,研发与生产的分离使得高科技产品出口占比只能在一定程度上反映一个国家的制造业加工水平,却并不能全面地体现出一个国家真正的科技水平。能源效率的回归系数显著为负,说明能源效率的提高可以显著地降低生产侧的碳排放,与预期一致。

在模型(6)中,贸易开放度每提高1%,生产侧碳排放就相应地减少0.38%,系数通过了1%显著性水平检验,说明就生产侧而言,样本包含的60个国家和地区在1995-2011年间,贸易开放所带来的环境收益大于贸易开放对环境的损害,贸易开放整体上可以减少碳排放。

## (二)消费侧碳排放与经济增长的回归结果

表3展示的是消费侧碳排放与经济增长的回归结果。由于其他控制变量都没有变化,因此工具变量的检验结果与表2一致。虽然在模型(2)中,人均GDP自然对数的二次项系数显著为负,但在更为准确的模型(4)和模型(6)中,人均GDP自然对数的二次项均不显著,因此可



以认为,消费侧的碳排放库兹涅茨曲线并不存在,经济增长在消费侧与碳排放线性相关。这一结果说明,居民对二氧化碳的“消费”具有一定的刚性,随着经济的增长,居民收入不断提高,相应地居民对物质消费的需求也不断提高,因此能源消耗与碳排放也在不断增加。当经济发展到一定水平时,环境规制以及节能减排政策的对象也都是生产者,而厂商的转移可以减少生产侧的碳排放,却无法避免消费者通过消费进口替代品而带来的消费侧碳排放。

表3 因变量为消费侧碳排放自然对数的回归结果

变量	OLS		FE		IV-2SLS	
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)
$\ln y_1$	0.673 (-0.0306)***	1.385 (-0.168)***	0.809 (-0.0432)***	0.946 (-0.187)***	0.7151 (0.07051)***	0.9831 (0.1765)***
$(\ln y_1)^2$		-0.0376 (-0.00877)***		-0.008 (-0.0106)		-0.0155 (0.01081)
$\ln pop$	2.232 (-0.0459)***	2.248 (-0.0419)***	2.526 (-0.173)***	2.504 (-0.176)***	2.465 (0.2319)***	2.4229 (0.2391)***
$\ln is$	0.868 (-0.12)***	0.638 (-0.13)***	0.446 (-0.128)***	0.415 (-0.135)***	0.524 (-0.12556)***	0.4624 (0.1254)***
$eim$	0.0453 (-0.0131)***	0.0419 (-0.0127)***	0.0715 (-0.015)***	0.0717 (-0.015)***	0.07466 (0.01613)***	0.0750 (0.01635)***
$\ln tech$	0.00808 (-0.0117)	0.00764 (-0.0116)	0.013 (-0.0116)	0.0126 (-0.0116)	0.01573 (0.00894)*	0.0149 (0.0091)
$\ln urb$	0.126 (-0.0819)	-0.00071 (-0.0846)	0.410 (-0.0935)***	0.378 (-0.102)***	0.48933 (0.14168)***	0.4269 (0.1361)***
$\ln open$	0.235 (-0.0897)***	0.124 (-0.0924)	0.159 (-0.0916)*	0.143 (-0.0943)	0.19949 (0.08919)**	0.1665 (0.0914)*
$\ln ee$	-0.387 (-0.0347)***	-0.401 (-0.0336)***	-0.276 (-0.0424)***	-0.280 (-0.0427)***	-0.22448 (0.009176)**	-0.2324 (0.0908)**
Constant	-13.25 (-0.529)***	-15.28 (-0.7)***	-16.23 (-0.931)***	-16.46 (-0.98)***	-16.0101 (1.2041)***	-16.46 (1.1419)***
个体固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Cragg-Donald 统计量					1513.28	644.89
Observations	940	940	940	940	940	940
R <sup>2</sup>	0.6554	0.66	0.692	0.692		

与生产侧碳排放不同,消费侧碳排放与经济增长的回归结果中,产业结构显著为正。由于经济发展与产业结构高度相关,这再次说明了消费侧碳排放与经济发展之间的刚性关系,产业结构升级所带来的结构效应更容易在消费侧得到体现。与生产侧碳排放的回归结果相比,其他控制变量的回归结果没有出现符号上的差异,这说明其他变量在两侧碳排放的影响上不存在方向上的差异,只存在程度上的差异。

### 五、经济增长与贸易隐含碳

表4展示的是贸易隐含碳与经济增长的基础回归结果。在基础回归中,控制变量的选取与之前的回归完全一致,可以看到,无论是方程的整体拟合结果,还是关键变量的回归结果都不显著,在经济增长这一变量的回归结果上,各模型的结果较为一致,特别是在加入了人均GDP自然对数二次项的模型(2)、(6)中,人均GDP的一次项系数显著为正,而人均GDP的二次项系数显著为负,说明贸易隐含碳与经济增长之间同样存在着库兹涅茨曲线。同样地,该曲线的顶点也在样本之外,即尚未出现贸易隐含碳随着经济增长不断降低的趋势。这一结果说明,就样本中的国家而言,经济水平越高的国家,越有成为碳净出口国的趋势,这显然有悖于图1和我们的直观感受。

表4 因变量为贸易隐含碳自然对数的基础回归结果

变量	OLS		FE		IV-2SLS	
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)
$\ln y_i$	-13.13 (-17.65)	930.1 (-102.5)***	196.5 (-127)	777.3 (-454.7)*	205.8 (-43.74)***	700.0 (-137.3)***
$(\ln y_i)^2$		-49.66 (-5.333)***		-33.77 (-20.84)		-28.51 (-6.556)***
$\ln pop$	39.84 (-23.48)*	46.38 (-23.31)**	-31.96 (-185.1)	-126.8 (-211.5)	-25.92 (-72.98)	-103.5 (-76.37)
$\ln is$	289.8 (-76.26)***	-12.8 (-79.77)	20 (-97.78)	-111.1 (-137.5)	12.24 (-51.65)	-101.7 (-58.01)*
$eim$	-1.422 (-7.783)	-4.295 (-7.543)	2.087 (-8.599)	2.948 (-8.387)	1.775 (-4.73)	2.374 (-4.432)
$\ln tech$	7.537 (-7.451)	7.442 (-7.111)	7.34 (-8.878)	5.59 (-8.615)	7.074 (-4.263)*	5.486 (-3.93)
$\ln urb$	322.9 (-49.29)***	166.5 (-50.72)***	574.2 (-333.3)*	441.6 (-288.4)	566.3 (-104.1)***	451.2 (-97.39)***
$\ln open$	119.1 (-56.94)**	-23.43 (-56.56)	41.61 (-102.9)	-28.45 (-97.15)	37.63 (-50.47)	-23.17 (-47.84)
$\ln ee$	-14.66 (-20.51)	-35.08 (-19.95)*	-51.65 (-47.48)	-66.41 (-53.98)	-56.77 (-22.94)**	-71.34 (-24.35)***
<i>Constant</i>	-2297 (-324.9)***	-5002 (-422.8)***	-4225 (-2484)*	-5194 (-2867)*	-4289 (-819.5)***	-5117 (-905)***
个体固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Cragg-Donald 统计量					1513.28	644.89
Observations	940	940	940	940	940	940
R <sup>2</sup>	0.1472	0.2283	0.261	0.284		

表4的回归结果说明,一国自身的经济增长水平和增长方式可能会对本国的生产侧碳排放和消费侧碳排放产生影响,而贸易隐含碳不仅受国内经济增长的影响,在很大程度上更取决于国际上碳的消费情况,也就是该国参与国际贸易的方式、地位与深度,因此,我们对控制变量做针对性的调整,加入刻画一国参与国际贸易的四个控制变量——贸易总量的自然对数、贸易顺差、能源、矿产与制造业贸易顺差、服务业贸易顺差,重新对方程进行回归,具体结果见表5。

表5 因变量为贸易隐含碳的回归结果

变量	OLS		FE		IV-2SLS	
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)
$y_i$	-0.00324 (-0.0005)***	-0.00549 (-0.00111)***	-0.00365 (-0.0013)***	-0.00599 (-0.00347)*	-0.00355 (-0.00062)***	-0.00593 (-0.00151)***
$(y_i)^2$		2.52E-08 (-1.11E-08)**		2.21E-08 (-2.47E-08)		2.19E-08 (-1.13E-08)*
$eim$	-18.39 (-5.339)***	-19.09 (-5.297)***	-12.85 (-12.38)	-13.47 (-12.74)	-12.88 (-5.148)**	-13.47 (-5.176)***
$\ln open$	115.7 (-30.6)***	129.6 (-31.2)***	160.5 (-132.5)	166.3 (-136.5)	160.8 (-47.57)***	166.4 (-48.85)***
$\ln ee$	-71.26 (-15.73)***	-68.15 (-15.67)***	-91.07 (-64.62)	-85.06 (-59.14)	-91.74 (-21.7)***	-85.36 (-20.94)***
$\ln vot$	26.66 (-4.077)***	29.02 (-4.2)***	60.88 (-45.23)	63.86 (-47.45)	61.12 (-15.22)***	63.92 (-15.76)***
$ts$	-0.000823 (-0.00019)***	-0.000831 (-0.000188)***	-0.00075 (-0.00101)	-0.000751 (-0.00101)	-0.000748 (-0.00044)*	-0.000751 (-0.000438)*
$t\_str1$	0.00178 (-0.00019)***	0.00179 (-0.00019)***	0.00167 (-0.0013)	0.00167 (-0.00129)	0.00167 (-0.00048)***	0.00167 (-0.0005)***
$t\_str2$	-0.00188 (-0.0002)***	-0.00180 (-0.000201)***	-0.00216 (-0.00083)**	-0.00212 (-0.0008)**	-0.00216 (-0.00038)***	-0.00212 (-0.0004)***
Constant	-560.4 (-122.2)***	-623.2 (-125.5)***	-1080 (-876.1)	-1117 (-902.5)	-1066 (-294.4)***	-1117 (-307.1)***
个体固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Cragg-Donald 统计量					589.166	608.031
Observations	936	936	936	936	936	936
R <sup>2</sup>	0.6940	0.6941	0.808	0.81		

由表5的回归结果可以看到,六个模型的整体回归结果较为理想,模型(1)至模型(4)的R<sup>2</sup>较基础回归结果有大幅提升,说明方程的整体拟合效果更为显著,更能准确反映经济增长与贸易隐含碳的关系。

在模型(1)、(3)、(5)中,人均GDP的回归系数在1%水平上显著为负,说明经济的增长会导致一国净出口向的贸易隐含碳不断减少,而模型(2)、(6)中,人均GDP的回归系数显著为

负,其二次项的回归系数显著为正,说明贸易隐含碳随着人均GDP的不断增加呈现出正U型的曲线,但同样的,根据二次项顶点公式,该二次曲线的拐点也在样本之外,说明就样本而言,尚未出现贸易隐含碳随经济增长而上升的现象。在生产分散化和贸易自由化的今天,发达国家凭借着技术优势在全球价值链中保持上游位置,不断将高污染、高能耗、粗放型产业向外转移,导致发展中国家行业碳密集度升高,碳排放大幅上升。

贸易开放度和贸易总量自然对数的回归系数显著为正,说明贸易开放度越高、越依赖国际贸易、在国际贸易中参与度越高的国家,越易成为碳净出口国。这两个控制变量的回归结果,说明在样本国家中,“向底线赛跑”效应明显,一国在国家贸易中会更倾向于牺牲环境换取成本,增强竞争力,从而在国际贸易中得到收益。

能源效率的回归系数显著为负,说明能源效率越高的国家越易成为碳净进口国。首先,在能源技术上具有优势的国家,其国内生产的产品无论是用于本国消费还是用于出口,其单位产品能耗都会低于其他国家,从而导致该国家成为碳净进口国。其次,对于在能源技术上具有优势的国家,一方面通过出口低能耗低排放绿色产品增加收入,另一方面通过进口来满足本国对高污染高排放的产品需求,其结果就是碳净进口量的不断增加;而对于在能源技术上不具有优势的国家,则只能通过进口绿色产品、出口高能耗高排放产品来维持经济的运行,自然导致了碳净出口量的持续上升。

贸易结构的回归结果与预期相符,能源、矿产与制造业顺差的回归系数显著为正,服务业贸易顺差的回归系数显著为负,说明在高能耗行业赚取贸易顺差的国家较易成为碳净出口国,而在服务业等清洁行业赚取贸易顺差的国家则比较容易成为碳净进口国。这一方面是由各行业本身的特征决定的,另一方面,也与东道国的经济水平有关。一般而言,服务业发达的国家往往是经济水平较高的发达国家,这些国家凭借技术优势,较早地完成了产业升级,在全球价值链中处于上游位置,以较低的能源成本换取高额的收益,这也从侧面验证了经济增长与贸易隐含碳的关系。

## 六、稳健性检验

为验证上述回归结果的稳健性,本文选用经济增长的代理变量  $y_2$  作为解释变量。 $y_1$  的计算依赖于官方汇率,而  $y_2$  则是以购买力平价指数为基础。在从一种货币换算成另一货币的过程中,存在汇率扭曲问题,这一点在发展中国家尤其明显。贸易管制或政府对汇率的直接干预,使得官方汇率显著地不同于在竞争市场中形成的外国汇率。即使竞争市场决定汇率,也不能消除这一问题,国民收入的一个重要组成部分是不可贸易商品和服务,这类商品并不进入或常常不能进入国际贸易领域。由于不可贸易商品的市场在空间上被分隔开,其供给曲线在不同区域分别相交,产生不同的价格。另一方面,汇率很大程度上是可贸易商品和国

际资本流动决定的,而不反映不可贸易商品的相对价格。因此,在这些国家中的某一个国家里选择一组重要的价格,然后用这一组价格来衡量所有参加比较国家的商品和服务的价值,即采用购买力平价指数可以一定程度上解决这些问题。由于购买力评价指数的此种特性,基于该指数计算得到的人均GDP可以更为真实地反映一个国家居民的收入水平和生活水平。继续采用混合OLS模型、固定效应模型和工具变量两步GMM估计对上述模型进行回归,具体结果见表6、表7和表8。

表6 因变量为生产侧碳排放自然对数的稳健性检验

变量	OLS		FE		IV-2SLS	
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)
$\ln y_2$	0.725 (-0.0269)***	2.685 (-0.173)***	0.864 (-0.03)***	2.292 (-0.181)***	0.9004 (0.0553)***	2.2978 (0.2017)***
$(\ln y_2)^2$		-0.101 (-0.00883)***		-0.0772 (-0.00963)***		-0.0755 (0.0113)***
$\ln pop$	2.220 (-0.0458)***	2.230 (-0.0439)***	2.928 (-0.12)***	2.801 (-0.117)***	2.9518 (0.1475)***	2.8282 (0.1247)***
$\ln is$	0.328 (-0.0907)***	-0.0767 (-0.0919)	-0.105 (-0.089)	-0.317 (-0.0898)***	-0.1353 (0.0894)	-0.3438 (0.0805)***
$eim$	0.0300 (-0.0105)***	0.0338 (-0.00987)***	0.0463 (-0.0104)***	0.0498 (-0.01)***	0.0450 (0.01389)***	0.0484 (0.0141)***
$\ln tech$	-0.0001 (-0.00872)	-0.00099 (-0.00815)	0.00507 (-0.00803)	0.00224 (-0.00776)	0.0040 (0.00762)	0.0012 (0.00712)
$\ln urb$	0.362 (-0.0644)***	0.159 (-0.063)**	0.596 (-0.065)***	0.373 (-0.0687)***	0.5656 (0.1133)***	0.3455 (0.1062)**
$\ln open$	-0.121 (-0.0674)*	-0.332 (-0.0657)***	-0.244 (-0.0637)***	-0.370 (-0.0634)***	-0.2595 (0.0631)**	-0.3855 (0.0621)
$\ln ee$	-0.689 (-0.0293)***	-0.685 (-0.0274)***	-0.529 (-0.0295)***	-0.548 (-0.0285)***	-0.5489 (0.0789)***	-0.848 (-0.0264)***
<i>Constant</i>	-12.12 (-0.417)***	-19.29 (-0.741)***	-16.59 (-0.649)***	-20.78 (-0.816)***	-17.18 (0.8315)***	-21.24 (0.9906)***
个体固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Cragg-Donald 统计量					1407.382	584.818
Observations	940	940	940	940	940	940
R <sup>2</sup>	0.7665	0.7987	0.812	0.825		

分别对比表2与表6、表3与表7的结果可以发现,经济增长指标为 $y_2$ 时的回归结果与 $y_1$ 时的回归结果基本一致。在表6中,模型(2)、(4)、(6)中人均GDP的系数显著为正,人均GDP的二次项系数显著为负,说明生产侧存在碳排放库兹涅茨曲线,虽然由表6的回归结果计算出达峰时的人均GDP要小于表2中得到的结果,但样本中同样没有已经达峰的国家或地区。

表7 因变量为消费侧碳排放自然对数的稳健性检验

变量	OLS		FE		IV-2SLS	
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)
$\ln y_2$	0.773 (-0.0329)***	1.528 (-0.248)***	0.809 (-0.0432)***	1.078 (-0.269)***	0.7111 (0.0704)***	1.1524 (0.281)***
$(\ln y_2)^2$		-0.0383 (-0.0126)***		-0.0145 (-0.0144)		-0.0238 (0.0158)
$\ln pop$	2.179 (-0.038)***	2.180 (-0.0368)***	2.526 (-0.173)***	2.502 (-0.175)***	2.4624 (0.2324)***	2.423 (0.2362)***
$\ln is$	0.821 (-0.122)***	0.657 (-0.132)***	0.446 (-0.128)***	0.406 (-0.134)***	0.5275 (0.1255)***	0.4616 (0.1252)***
$eim$	0.0451 (-0.0125)***	0.0435 (-0.0123)***	0.0715 (-0.015)***	0.0722 (-0.015)	0.07479 (0.01614)***	0.0759 (0.01659)***
$\ln tech$	0.00655 (-0.0118)	0.00624 (-0.0118)	0.013 (-0.0116)	0.0125 (-0.0116)	0.01584 (0.0089)*	0.0149 (0.0091)
$\ln urb$	0.126 (-0.0791)	0.0509 (-0.0818)	0.410 (-0.0935)***	0.368 (-0.102)***	0.4927 (0.1412)***	0.4232 (0.1374)***
$\ln open$	0.282 (-0.0902)***	0.198 (-0.0942)**	0.159 (-0.0916)*	0.135 (-0.0946)	0.2012 (0.08931)**	0.1621 (0.092)*
$\ln ee$	-0.488 (-0.0361)***	-0.497 (-0.0357)***	-0.276 (-0.0424)***	-0.280 (-0.0426)***	-0.2223 (0.09126)**	-0.2286 (0.0907)**
<i>Constant</i>	-14.16 (-0.517)***	-16.93 (-1.029)***	-16.49 (-0.934)***	-17.28 (-1.218)***	-16.41 (1.2103)***	-17.7 (1.2506)***
个体固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Cragg-Donald 统计量					1407.382	584.818
Observations	940	940	940	940	940	940
R <sup>2</sup>	0.6567	0.6609	0.692	0.692		

表7中模型(1)、(3)、(5)人均GDP的自然对数回归系数显著为正,而在加入了人均GDP自然对数二次项的模型(4)和模型(6)中,人均GDP自然对数二次项的回归系数并不显著,这一结果也与表3的回归结果一致,说明在消费侧,经济增长与碳排放是线性正相关的,碳排放库兹涅茨曲线并不存在。

与表5相比,表8的回归结果中各关键变量的回归系数没有出现方向性变化,仅有不同程度的数量变化。具体而言,表8中模型(5)的人均GDP回归系数绝对值更大,说明贸易隐含碳对 $y_2$ 的变化更为敏感。由于相较于 $y_1$ 而言, $y_2$ 更能体现一个国家的居民的收入水平和生活水平,因此可以推测贸易隐含碳受居民的消费行为影响更大。在模型(6)中,人均GDP的回归系数显著为负,人均GDP二次项的回归系数显著为正,然而与表5结果不同的是,据此求得的贸易隐含碳达到最低点时的人均GDP为93017国际元,而2007年(96289国际元)与2008年(93786国际元)的卢森堡实际上已经处于了顶点的右侧,但由于卢森堡在2008年之后受全球

表8 因变量为贸易隐含碳的稳健性检验

变量	OLS		FE		IV-2SLS	
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)
$y_2$	-0.00341 (-0.0006)***	-0.00610 (-0.0014)***	-0.00427 (-0.0022)*	-0.00861 (-0.0052)	-0.00474 (-0.0009)***	-0.00999 (-0.0024)***
$(y_2)^2$		3.12E-08 (-1.44E-08)**		4.36E-08 (-4.15E-08)		5.37E-08 (-2.08E-08)***
$eim$	-19.79 (-5.395)***	-19.68 (-5.34)***	-12.67 (-11.73)	-12.23 (-11.81)	-12.56 (-4.944)**	-12.04 (-5.093)**
$lnopen$	101.5 (-30.47)***	117.3 (-31.42)***	163.8 (-129.2)	175.9 (-135.1)	162.9 (-46.3)***	178.0 (-48.21)***
$lnnee$	-57.84 (-16.28)***	-54.18 (-16.22)***	-77.43 (-56.19)	-68.22 (-50.5)	-73.31 (-20.49)***	-62.80 (-19.86)***
$lnvot$	28.94 (-4.28)***	33.02 (-4.704)***	67.84 (-45.91)	78.21 (-51.53)	67.67*** (-15.16)	80.49*** (-17.25)
$ts$	-0.000850 (-0.0002)***	-0.000870 (-0.0002)***	-0.00075 (-0.001)	-0.00077 (-0.001)	-0.00075 (-0.0004)*	-0.00078 (-0.00043)*
$t\_str1$	0.00181 (-0.0002)***	0.00183 (-0.0002)***	0.00168 (-0.00128)	0.0017 (-0.00128)	0.00168 (-0.0005)***	0.00170 (-0.00047)***
$t\_str2$	-0.00179 (-0.0002)***	-0.00173 (-0.0002)***	-0.00207 (-0.0008)**	-0.00202 (-0.0008)**	-0.00207 (-0.0004)***	-0.00200 (-0.0004)***
$Constant$	-544.3 (-122.5)***	-624.6 (-129)***	-1177 (-869.8)	-1295 (-930.2)	-1146 (-291.2)***	-1306 (-315.6)***
个体固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Cragg-Donald 统计量					1653.638	441.317
Observations	936	936	936	936	936	936
$R^2$	0.6951	0.6957	0.812	0.816		

经济危机和欧洲主权债务危机的影响,经济持续低迷,人均GDP连年减少,因此并不能说卢森堡的贸易隐含碳已经降低至最小值。

综合对比表2、3、5与表6、7、8的结果可以发现,无论是生产侧碳排放、消费侧碳排放还是贸易隐含碳,经济增长指标为  $y_2$  和  $y_1$  时的估计结果基本一致。因此,本文的实证结论是稳健的。

### 七、结论与政策建议

近年来学界对于贸易隐含碳问题的研究层出不穷,但已有研究大多采用因素分解法着眼于双边或单边贸易关系中贸易隐含碳的流向、行业分布和影响因素,没有从根源上回答贸易隐含碳出现的原因。本文首先在理论层面分析了经济增长在生产侧和消费侧对碳排放影响的差异以及贸易隐含碳出现的原因,然后构建了计量回归模型,借助60个国家和地区

1995–2011年间的面板数据对理论分析进行了验证,得到的结论如下:

(1)生产侧碳排放存在库兹涅茨曲线,碳排放随着经济增长而增加,且增速逐渐放缓。根据本文的研究,生产侧碳排放的顶点在样本之外,样本中的各国经济发展中结构效应和技术效应带来的环境红利有所体现,但并不能弥补规模效应所带来的环境损失,因此真正的倒U型曲线并未得到验证。

(2)消费侧碳排放不存在库兹涅茨曲线,碳排放与经济增长呈现线性正相关的关系。经济增长对消费侧碳排放的影响并不是直接的,存在一个传导的过程,即先增加居民收入,并通过居民消费能力的提高而增加消费侧碳排放。由于大多数国家的减排政策都是基于生产者责任制,因此厂商可以通过转移生产地来规避减排约束,而消费者可以通过消费进口品来满足需求。

(3)贸易隐含碳(净出口向)与经济增长呈现负相关关系,且随着经济增长,贸易隐含碳(净出口向)下降的速度会逐渐放缓。一个国家自身的经济增长虽然会在生产侧和消费侧对碳排放造成不同影响,但对其贸易隐含碳的影响却并不显著,贸易隐含碳与该国在国际贸易中的表现关系更为紧密。在整个样本中,“向底线赛跑”效应明显,贸易开放会显著提高一国的贸易隐含碳。

以上结论具有一定的政策启示性。在应对气候变化问题的后巴黎时代,各个国家应该坦诚地面对生产者和消费者的双重身份,寻找出更加公平和有效的责任划分原则。发达国家在需求侧造成的二氧化碳排放理应使得其在应对气候变化问题上承担更多的责任,而发展中国家在充分考虑自身权益的同时,也应该客观面对本国在供给和需求两侧所造成的碳排放,积极寻找合理的二氧化碳减排分摊方案。只有运用合理的政策工具,杜绝“向底线赛跑”的现象出现,才能共同应对气候变化问题。

## 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): 11–25.
- [2] 杜运苏,孙辉煌. 中国出口贸易隐含碳排放增长因素分析:基于LMDI[J]. 世界经济研究, 2012, (11): 44–49.
- [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, (01): 168–182.
- [4] 王媛,魏本勇,方修琦,和夏冰,杨会民. 基于LMDI方法的中国国际贸易隐含碳分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, (02): 141–146.
- [5] 魏一鸣,刘兰翠,范英,吴刚. 中国能源报告(2008):碳排放研究[M]. 北京:科学出版社, 2008.
- [6] 闫云凤,赵忠秀,王苒. 基于MRIO模型的中国对外贸易隐含碳及排放责任研究[J]. 世界经济研究, 2013, (06): 54–58.
- [7] 张传国,洪琴. 海峡两岸贸易隐含碳排放问题研究[J]. 国际贸易问题, 2013, (05): 104–114.



- [8] 赵玉焕,李洁超. 基于技术异质性的中美贸易隐含碳问题研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, (12): 28-34.
- [9] 赵玉焕,田扬,刘娅. 基于投入产出分析的印度对外贸易隐含碳研究[J]. 国际贸易问题, 2014, (10): 77-87.
- [10] 周新. 国际贸易中的隐含碳排放核算及贸易调整后的国际温室气体排放[J]. 管理评论, 2010, 22 (06): 17-24.
- [11] Esty, D. C. and A. Dua. Sustaining the Asia Pacific Miracle: Environmental Protection and Economic Integration[J]. *Asia Pacific Journal of Environmental Law*, 1997, 3 (1) : 150-152.
- [12] Esty, D. C. and B. S. Gentry. Foreign Investment, Globalisation and the Environment[R]. 1997.
- [13] Fernández-Amador, O., J. F. Francois, D. A. Oberdabernig, and P. Tomberger. Carbon Dioxide Emissions and Economic Growth: An Assessment Based on Production and Consumption Emission Inventories[J]. *Ecological Economics*, 2017, 135(5): 269-279.
- [14] Hayami, H., M. Nakamura, K. Asakura., and K. Yoshioka. The Emission of Global Warming Gases: Trade between Canada and Japan[R]. 1999.
- [15] Hertwich, E. G. and G. P. Peters. Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-linked Analysis[J]. *Environmental Science and Technology*, 2009, 43(16): 6414-6420.
- [16] Meng, B., G. P. Peters, and Z. Wang. Tracing Greenhouse Gas Emissions in Global Value Chains[R]. 2015
- [17] Peters, G. P. From Production-based to Consumption-based National Emission Inventories[J]. *Ecological Economics*, 2008, 65(1): 13-23.
- [18] Peters, G. P. and E. G. Hertwich. CO<sub>2</sub> Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy[J]. *Environmental Science and Technology*, 2008, 42(5): 1401-1407.
- [19] Su, B. and E. Thomson. China's Carbon Emissions Embodied in (Normal and Processing) Exports and Their Driving Forces, 2006-2012[J]. *Energy Economics*, 2016, 59(9): 414-422.
- [20] Vogel, D. Trading Up: Consumer and Environmental Regulation in a Global Economy[J]. *Southern Economic Journal*, 1995, 63(1): 271.
- [21] Wiebe, K. and N.Yamano. Estimating CO<sub>2</sub> Emissions Embodied in Final Demand and Trade Using the OECD ICIO 2015: Methodology and Results OECD Science[R]. 2016.

## **Economic Growth and Trade Embodied Carbon Emission: A Perspective from Production-based and Consumption-based Emission**

Qi Shaozhou<sup>a,b,c,d</sup> and Zhang Zhenyuan<sup>b</sup>

(a: Economics and Management School of Wuhan University;

b: Institute for International Studies of Wuhan University;

c: Climate Change and Energy Economics Research Center of Wuhan University;

d: Center of Hubei Cooperative Innovation for Emissions Trading System)

(下转第35页)

geographical distribution and industrial distribution. Therefore, this article attempts to use the industrial enterprise database and establish an empirical model and aims at studying the relationship between trade and environment in China at the industrial level. In terms of the environmental effects of international trade, international trade shows inhibited effect in all pollution indicators, indicating that the decoupling effect and the income effect dominate; Considering of the environmental effects of intranational trade, intranational trade shows promoted effect in all pollution indicators, which indicate that the substitution effect dominates; As to industrial factors, the increase of industrial scale will increase the emission of these pollutants and the environmental regulation will result in less emission of these pollutants. The effects of capital labor ratio, technology level and the ratio of foreign capital range from different industries; If an industry has a significant influence coefficient, when the export of this industry increases, the emission will get lower. China's industrial enterprise should adhere to the clean development and optimize industrial structure to narrow the gap with developed countries.

**Keywords:** International Trade; Intranational Trade; Environmental Pollution

**JEL Classification:** F18

(责任编辑:朱静静)

**Abstract:** In the context of trade globalization and climate change, the study of trade embodied carbon has been a hot topic in academia. This paper analyses the difference between the influences that economic growth has both on production-based carbon emission and consumption-based carbon emission and the reason why trade embodied emission happens theoretically. Based on a panel data, this paper tests the hypothesis by constructing econometric regression model subsequently. The results show that: There exists a Carbon Kuznets Curve on the production side, that is, carbon emission increases with economic growth but at a decreasing rate; There does not exist a Carbon Kuznets Curve on the consumption side, and carbon emission has a positive linear relation with economic growth; Embodied carbon emission has a negative linear relation with economic growth, while the coefficient is decreasing; Embodied carbon emission is not related to national economic growth, but closely related to the country's performance in international trade. In terms of the samples, the "race to the bottom" effect was obvious, and trade openness would significantly increase a country's embodied carbon emission. We should realize and use the objective law between economic growth and trade embodied carbon, and employ reasonable policy tools to avoid "race to the bottom". Only through the cooperation can tackling climate change successfully.

**Keywords:** Trade Embodied Carbon Emission; Economic Growth; Production-based Carbon Emission; Consumption-based Carbon Emission

**JEL Classification:** F18

(责任编辑:朱静静)