

人大国发院系列报告

专题研究报告

2013年11月 总期第4期

(能源与资源战略系列报告 ERS201302)

国际贸易的隐含二氧化碳流研究 ——基于南北国家的对比分析

陈占明(中国人民大学国家发展与战略研究院)

陈国谦(北京大学工学院)

王瀚文、曾诗培(中国人民大学经济学院)



国家发展与战略研究院

National Academy of Development and Strategy, RUC

人大国发院简介

国家发展与战略研究院(简称国发院)是由中国人民大学主办的独立的校级研究机构。国发院以中国人民大学在人文社会科学领域的优势学科为依托,以项目为纽带,以新型研究平台、成果转化平台和公共交流平台为载体,组建跨学科研究团队对中国面临的各类重大社会经济政治问题进行深入研究,以达到“服务政府决策、引领社会思潮、营造跨学科研究氛围”的目标。

国发院通过学术委员会和院务会分别对重大学术和行政事务进行决策。目前由纪宝成教授担任名誉院长兼学术委员会主任,陈雨露教授担任院长,刘元春教授担任执行院长。

地址:北京市海淀区中关村大街59号 中国人民大学国学馆(紧邻新图书馆)

电话: 010-62515049

网站: <http://NADS.ruc.edu.cn>

Email: nads_ruc@126.com, nads@ruc.edu.cn

摘要

本报告以七国集团国家和金砖四国为发达国家和发展中国家代表,将世界其他国家和地区作为对比组,使用多区域投入产出模型对由化石燃料使用而造成的隐含二氧化碳排放贸易情况进行了实证分析。本报告分别比较了上述三个多国集团的隐含碳排放强度,并使用市场汇率与购买力平价来研究名义与实际生产效率的差别。本报告对不同经济活动诸如生产、消费和进出口所呈现出的排放情况也相应地进行了计算和分析,其结果反映出七国集团国家(15.3 亿吨贸易顺差,占其交易排放的 36%)和金砖四国(13.7 亿吨贸易逆差,占其交易排放的 51%)在碳交易中的极度不平衡以及世界其他国家和地区(1.6 亿吨,占其交易排放的 3%)的近似碳交易平衡。根据计算,七国集团国家、金砖四国以及世界其他国家和地区的基于消费的人均排放分别为 12.95 吨、1.53 吨和 2.22 吨。最后,本报告针对隐含二氧化碳贸易现象讨论了在制订全球减排政策中需要考虑的问题。

一、引言

纵观与气候变化问题有关的学术讨论乃至国际谈判,争论的焦点大都集中在如何制定合理分配责任以及如何有效度量减排的标准之上。由于全球减排努力的成效并不显著,《京都议定书》所设定的只对附件 B 国家的温室气体直接排放量进行限制的政策正受到越来越多的批评,而造成这种结果的主要原因是产业转移(例如排放密集型工业逐渐由发达国家转向发展中国家)和国际间贸易(例如发展中国家逐渐增加对发达国家的排放密集型产品出口)所造成的碳泄露(Davis and Caldeira, 2010; Homma et al., 2008; Peters, 2007; Weber and Peters, 2009)。与此同时,越来越多的学者开始对隐含温室气体排放问题进行关注(Peters and Hertwich, 2008), 伴随而来的是对国际间贸易隐含排放转移的研究越来越多(参见 Wiedmann, 2009; Wiedmann et al., 2007)。

有着相似利益诉求(如经济、地理、政治或者其他利益)的国家倾向于在国际气候谈判中形成联合集团(例如联合国气候变化框架公约第十五次缔约方会议中的不同阵营)。这样的多国集团对于全球性的减排不失为一种有效可信的策略,因其集团成员可以作为一个整体作出一致的减排承诺(Peters and Hertwich, 2008)。然而,之前的研究通常只针对单独的国家本身(参见 Chen and Chen, 2010a; Fan et al., 2007; Guan et al., 2008, 2009; Liang et al., 2007; Limmeechokchai and Suksuntornsiri, 2007; Pan et al., 2008; Peters et al., 2007; Weber et al.,

2008; Zhou, 2008)以及双边层面(例如, 参见 Ackerman et al., 2007; Li and Hewitt, 2008; Liu et al., 2010; McGregor et al., 2008; Norman et al., 2007; Xu et al., 2009), 只有少数研究涉及到了多国阵营(Andrew et al., 2010; Chen and Chen, 2010b; Friot et al., 2007; Hertwich and Peters, 2009; Strømman and Duchin, 2006; Wilting and Vringer, 2009)。此外现有的关于多国集团的研究也通常依照其成员各自的经济情况和减排义务进行分组, 而关注国家间的其他相互关系的研究非常不足(Chen and Chen, 2010c; Chen et al., 2009)。

不同国家之间一个非常重要但经常被忽视的关联就是其地缘政治关系(Strausz-Hupe, 1972)。因此, 本研究的目的是通过揭示基于地缘政治力量形成的国际阵营对气候变化问题的利益权衡, 为国际间气候谈判提供一个全新的视角。在本研究中, 世界上所有国家和地区将被划分为三个地缘政治集团, 其中七国集团国家(G7)包括加拿大、法国、德国、意大利、日本、英国和美国这七个世界上最大的发达经济体; 金砖四国(BRIC)包括巴西、俄罗斯、印度和中国(大陆)这四个世界上发展最快的大型经济体; 而世界其他国家和地区(ROW)作为一个整体则将包括余下的所有经济体。鉴于 2004 年近 60% 的人为温室气体排放(基于全球变暖潜势)都要归咎于由化石燃料使用所造成的二氧化碳排放(IPCC, 2007), 在接下来的讨论中, 如无额外的叙述说明, “二氧化碳”将特指“在 2004 年由于化石燃料使用而形成排放的二氧化碳”。因此本研究将采用多区域投入产出模型对上述三个多国集团之间由于经济活动所造成的隐含二氧化碳贸易情况进行分析。

二、方法与数据

本文的研究重点在于三个地缘政治集团的不同经济活动中——如生产、消费以及进出口——所隐含的二氧化碳气体排放的定量比较。源于里昂惕夫对经济学分析的贡献而衍生出的多区域投入产出模型(Leontief, 1970, 1974)被认为是衡量贸易影响的一种主流方法(Wiedmann, 2009), 因此本研究也将采用这一模型。关于这一模型更为详细的叙述和回顾可以参考诸多著名的研究文章(参见 Miller and Blair, 2009; Peters, 2007; Wiedmann, 2009; Wiedmann et al., 2007), 因此本文在此不予赘述。接下来所列示的是本研究所采用的具体指标与数据。

一个工业部门的隐含排放强度表明了其在现有科技水平下生产一单位产品的过程中供应链中直接和间接地进行排放的量。纵向的各部门排放强度的比较从技术和资源禀赋角度展示了一个经济体的经济与生态结构(在本研究中, 温室气体排放配额被视为一种特殊的资源类型, 因此温室气体的排放也就被视为是一种负面的禀赋), 而针对不同经济体的某一特定部门的横向比较则从同一单位产出的碳成本的角度表明了其生产效率的差别, 因此横纵向比较的结合将能够使我们更好地了解不同国家不同部门间的比较优势, 而这对我们通过工业转移和国际间贸易实现产品再分配、进而实现全球排放限制有着极为重要的指导作用(Duchin, 2005)。为了使各经济体的产出具有可比性, 对不同货币的换算通常采用市场汇率(MER)或购买力平价(PPP)

这两个指标进行转换(Ahmad and Wyckoff, 2003; Nakano et al., 2009)。本研究中,市场汇率以及购买力平价将被同时使用以分析在三个多国集团的隐含排放强度背后的名义与真实生产率。

消费所引起的隐含排放(EEC)和生产所引起的隐含排放(EEP)是在最近的研究中最常被使用的两个指标,因为它们可以反映特定经济目标中的具体排放责任划分(Chen and Zhang, 2010; Lin and Sun, 2010; Zhang and Chen, 2010)。通常来讲,消费所引起的排放包括了生产消费品过程中的间接排放和家庭由于化石能源使用造成的直接排放。为了准确界定 EEC 和 EEP 的各自包含的范围,消费活动和生产活动之间的差别需要显著区分。值得注意的是,经济学上定义的“消费”——如经济投入产出表中提到的“国内最终需求”——与隐性研究中所定义的消费有着细微的差异(Chen et al., 2010; Zhou et al., 2010)。在经济投入产出表中,国内最终需求通常被分为家庭消费、政府消费和投资三个部分。尽管家庭消费的范畴十分明确,但是政府消费和投资的情况则与之大相径庭。在一些研究中,研究者试图在模型中回避这些需求方式(Costanza, 1980; McGregor et al., 2008)并把它们只看作是生产活动的中间环节,但在最新的研究中这种处理因为在理论上存在很大争议而被束之高阁(参见 Huettner, 1982)。另一种处理则把政府的消费视为是对国内居民的间接服务,而把投资视为是生产过程的一部分(Chen et al. 2010)。按照这样的分类方法,描述所关注的经济体的资源禀赋的 EEP 将不仅包括直接的生产排放和间接的隐含在部门内部和部门之间贸易的排放,更将包括那些以资本形式出现的国内投资所

带来的间接排放。本研究中所定义的 **EEP** 是一个关于排放的虚拟定义集合(因为从物质基础的角度出发,直接排放与不同阶段所隐含的间接排放是不能相加的),它的侧重点在于确认生产活动的投入结构,而非划分生产排放的责任归属(正如在 **Chen and Zhang, 2010; Lin and Sun, 2010; Zhang and Chen, 2010** 提到的那样)。

进口活动所隐含的排放(**EII**)和出口活动所隐含的排放(**EEO**)构成了反映所关注的经济体的贸易方式的两个指标。类似于经济贸易均衡,**EII** 与 **EEO** 之间的差异有如下定义:当 **EII** 大于 **EEO** 时为碳盈余,反之则为碳赤字。应当注意的是,碳盈余与碳赤字与其在经济学上的定义是相反的,这源于碳排放本身被认为是一种负面影响。在现有的《京都议定书》框架下制订的减排政策中,碳盈余国家成为了向碳赤字国家转移直接排放(如相关的碳排放义务)的主要来源。为了分析由国际间贸易引起的福利变化,因进口而避免的排放(**EAI**)这一指标也经常被纳入实际应用之中。当总的 **EAI** 大于 **EII** 时,全球的环境就会因国际间贸易而遭受到负面影响。

七国集团国家、金砖四国和世界其他国家和地区的多区域投入产出模型结构已经列示在表 1 中了,并将直接的二氧化碳排放流作为特定投入禀赋的相关内容补充于该表中。本研究中所使用的具体的工业部门的贸易数据来源于全球贸易分析项目(**GTAP**)第 7 版数据库第 2 临时版本,在这一数据库囊括了来自 93 个国家和地区、19 个区域的 57 个部门的详细投入产出表和双边贸易数据。在数据使用过程中部门贸易矩阵(**171*171**)——非对角线区块(表 1 中粗体字表示)和区域内

贸易(包括对角线区块)——和最终需求矩阵(171*9)分别通过对双边贸易数据的计算求解(想要详细了解操作过程的读者可以参考 Miller and Blair, 2009)。能源产品和石油及天然气产品的原材料购入量按照 GTAP 的能源数据库和相关文件进行估测(Lee, 2008)而作为非能源使用的原煤将按照中国国家标准(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局/中国国家标准化管理委员会, 2008)进行估测, 这是因为中国是世界煤炭生产和消费的主要国家。总而言之, 直接的二氧化碳排放流是基于上述能源数据以及 IPCC 所建议的排放相关因素(IPCC, 2006)计算出来的。用于进一步计算的社会及经济指标——如人口、购买力平价等等——则来源于 GATP(<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v7/default.asp>)和世界银行的相关数据库(详见附表 A)。

表 1 包含 G7、BRIC 和 ROW 三个多国集团及温室气体排放要素的全球多区域

投入产出表

从 \ 到		企业购买			最终需求			Total
		G7	BRIC	ROW	G7	BRIC	ROW	
企业销售	G7	T_{G7}^{G7}	T_{BRIC}^{G7}	T_{ROW}^{G7}	D_{G7}^{G7}	D_{BRIC}^{G7}	D_{ROW}^{G7}	O_{G7}
	BRIC	T_{G7}^{BRIC}	T_{BRIC}^{BRIC}	T_{ROW}^{BRIC}	D_{G7}^{BRIC}	D_{BRIC}^{BRIC}	D_{ROW}^{BRIC}	O_{BRIC}
	ROW	T_{G7}^{ROW}	T_{BRIC}^{ROW}	T_{ROW}^{ROW}	D_{G7}^{ROW}	D_{BRIC}^{ROW}	D_{ROW}^{ROW}	O_{ROW}
直接二氧化碳排放量		E_{G7}	E_{BRIC}	E_{ROW}	E'_{G7}	E'_{BRIC}	E'_{ROW}	

T_B^A : 由 A 地区销售并且在 B 地区作为中间投入使用的产品的货币价值;

D_B^A : 由 A 地区销售并且在 B 地区作为最终需求使用的产品的货币价值;

O_A ：由 A 地区销售的总产品的货币价值；

E_A ：在公司生产活动中由 A 地区释放的二氧化碳排放量；

E_A' ：在最终需求活动中由 A 地区释放的二氧化碳排放量；

三、结果与讨论

在 2004 年，由化石燃料使用直接造成的二氧化碳排放总量达到了 251 亿吨，其中七国集团国家、金砖四国和世界其他国家和地区的排放量分别占到了这一总量的 38.01%、29.04% 和 32.95%。图 1 中所列示的是基于市场汇率计算的三个多国集团各部门的隐含碳排放强度，换言之，也就是生产单位产出(100 万美元)所隐含的二氧化碳排放。根据这一图表，对于三个多国集团而言，电力部门和住宅部门分别有着最高和最低的排放强度。对于七国集团国家和世界其他国家和地区而言，海运和空运部门占到了第二和第三的位置，而金砖四国的相应位置则被油气生产、配送和其他矿产生所占据。从单位产出所隐含的二氧化碳排放来看，金砖四国在除海运之外的 56 个部门都有着最低的名义生产率。另一方面则是，七国集团国家在 50 个部门上都有着最高的名义生产率，而世界其他国家和地区在另外 7 个部门的生产效率较高。

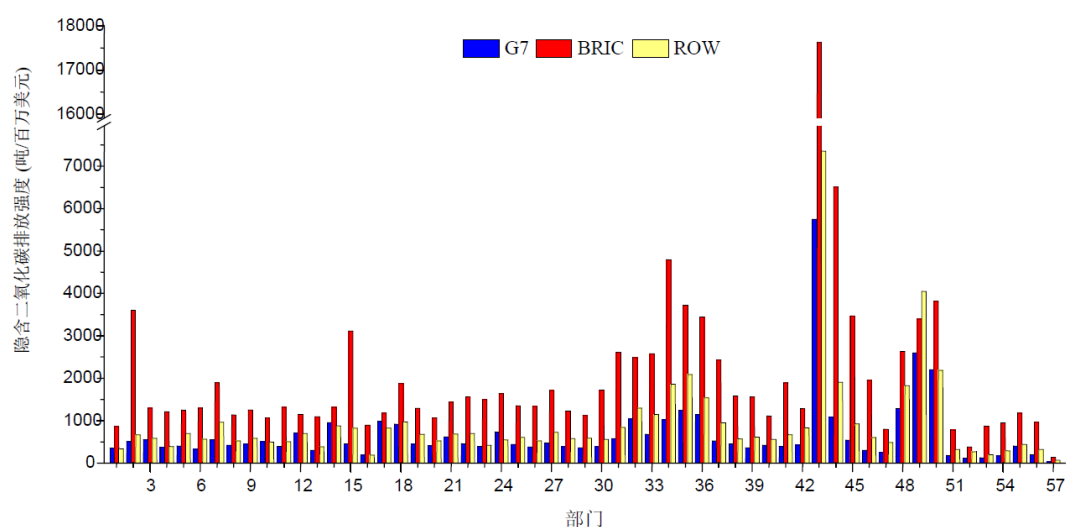


图 1 基于市场汇率(MER)的 G7、BRIC 和 ROW 的部门隐含二氧化碳排放强度

考虑到不同地区间购买力差异(比方说,即便都是同一美元的最终产品,金砖四国的产品和七国集团国家的产品无论从数量上还是质量上都可能存在重大差异),基于购买力平价而计算出的隐含二氧化碳排放强度将比基于市场汇率的计算更好地表示实际生产率的差别(参见表 2)。根据图 2 可见,在实际生产率方面,七国集团国家只在 13 个部门有着效率优势。除此之外,金砖四国在其中 4 个部门的隐含二氧化碳强度低于另外两个多国集团,这无疑首次揭示了这个快速发展中的地缘政治集团在某些部门所具有的实际生产率优势。

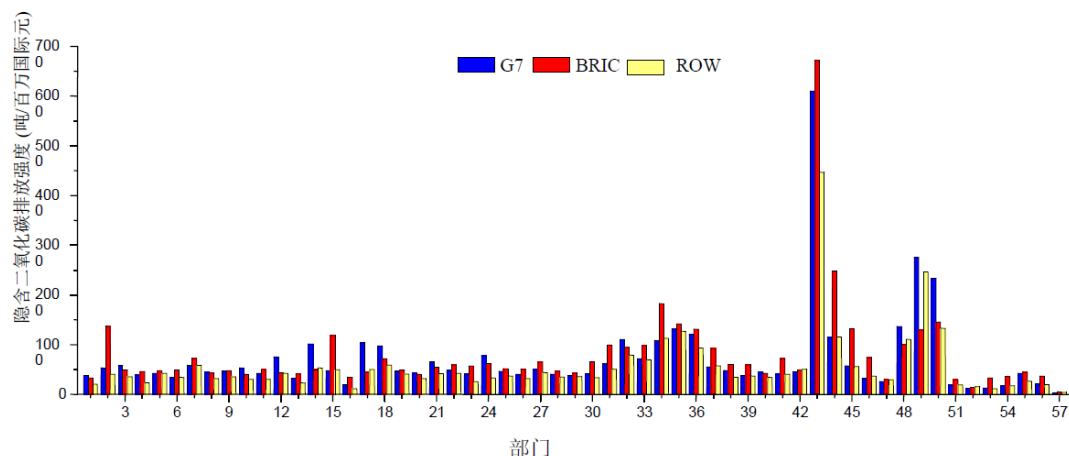


图 2 基于购买力平价(PPP)的 G7、BRIC 和 ROW 的部门隐含二氧化碳排放强度

基于市场汇率计算出的隐含排放强度通过创造每单位名义价值(例如 100 万美元产品)反映了总的二氧化碳排放,而基于购买力平价计算的隐含排放强度则与每单位实际购买力(例如购买 100 万国际美元产品)相关联。举个例子来说,考虑生产价值 100 万美元的鲜牛奶,七国集团国家、金砖四国和世界其他国家和地区的各自的二氧化碳排放分别为 398、1314 和 503 吨,比例为 1: 3.3: 1.3。而考虑购买 100 万国际美元鲜牛奶的话,这个数字则分别为 422、501 和 306 吨,比例为 1: 1.2: 0.7。由此可见,为了以最少的排放创造同样的名义产出(以市场价值衡量),鲜牛奶该由七国集团国家生产,可要是为了以最少的排放创造同样的实际产出(以购买力衡量)鲜牛奶则应当由世界其他国家和地区生产。当然上述讨论只是一个粗略的比较,因为本研究采用了单一购买力平价系数来折算同一个多国集团内所有国家及所有部门的价格水平,可实际情况往往是价格水平在不同国家间甚至同一国内部不同部门之间都存在差异。也正因此,在未来更深入的

研究中也应采用更加具体化的价格水平指数来对真实购买力进行计算。

表 2 中所列示的是不同用途产品的隐含二氧化碳排放情况, 57 个工业部门被分为诸如工业中间品、投资、家庭消费、政府消费等等 10 个类别进行展示(对应关系见附录)。图 3 描绘了三个多国集团之间的多边贸易均衡情况。七国国家集团在进口和出口贸易中隐含的二氧化碳排放分别为 28.9 亿吨和 13.6 亿吨, 也就是有着 15.3 亿吨的碳盈余, 这占据了世界总排放的 6% 或七国集团自身直接排放的 16%。在七国集团国家的碳盈余中, 分别有 53% 和 47% 来自于金砖四国和世界其他国家和地区。金砖四国的总二氧化碳排放、EEI 和 EEE 分别为 6.7 亿吨、20.4 亿吨和 -13.7 亿吨(负数表示碳赤字), 而世界其他国家和地区的相应数字分别为 22.1 亿吨、23.7 亿吨和 -1.6 亿吨。考虑到三个多国集团多边贸易的话, 七国集团国家享受了碳泄露的好处, 而金砖四国和世界其他国家和地区则为此付出了一定的代价。

三个多国集团靠进口外国产品以替代自己国内生产而避免的二氧化碳排放分别为 16.3 亿吨、17.7 亿吨和 22.4 亿吨。其结果则是, 全球的 EAI(56.4 亿吨)要比全球的 EEI(57.7 亿吨)少 1.3 亿吨, 也就证明了从二氧化碳排放的角度来看, 现阶段的国际间贸易没能让全球的环境得到改善和提高。因此, 调整现行的国际间经济结构、适当扩大(缩小)拥有比较优势(劣势)的产品贸易规模对实现国际间最优贸易模式(也就是使 EAI 超过 EEI 的时候)有着极为重要的意义。

表 2 G7、BRIC 和 ROW 不同来源的不同商品包含的二氧化碳排放

从\到	产品	工业中间使用			投资		
		G7	BRIC	ROW	G7	BRIC	ROW
G7							
	农作物	8.58E+07	8.37E+06	1.34E+07	5.60E+05	7.66E+04	1.73E+05
	家畜和肉制品	1.20E+08	2.71E+06	8.58E+06	1.00E+06	2.96E+04	1.40E+05
	开采和提取	1.92E+08	4.90E+07	1.02E+08	1.36E+05	6.83E+03	1.22E+04
	加工食品	2.39E+08	1.08E+07	2.74E+07	9.80E+04	2.64E+03	6.56E+03
	纺织品和服装	9.58E+07	3.39E+07	3.19E+07	3.35E+06	6.39E+05	6.06E+05
	轻工制造业	1.27E+09	1.04E+08	1.26E+08	2.37E+08	1.90E+07	3.56E+07
	重工业	2.91E+09	3.55E+08	6.16E+08	3.70E+08	8.65E+07	9.90E+07
	建设和公共事业	3.11E+09	7.80E+06	2.78E+07	7.31E+08	2.39E+06	4.29E+06
	交通和通讯	2.67E+09	2.94E+07	2.42E+08	1.25E+08	2.06E+05	1.96E+06
	其它服务	1.22E+09	1.38E+07	4.56E+07	7.74E+07	7.19E+05	2.26E+06
	总计	1.19E+10	6.15E+08	1.24E+09	1.55E+09	1.10E+08	1.44E+08
BRIC							
	农作物	3.19E+06	2.95E+08	5.27E+06	4.57E+02	3.02E+05	8.33E+02
	家畜和肉制品	5.29E+05	1.32E+08	1.77E+06	3.35E+04	8.14E+06	3.76E+04
	开采和提取	3.98E+06	5.09E+08	3.34E+07	1.94E+02	5.87E+04	1.68E+03
	加工食品	8.75E+05	1.98E+08	4.90E+06	3.50E+02	1.02E+04	2.55E+03
	纺织品和服装	3.20E+06	2.74E+08	1.24E+07	5.99E+02	1.18E+05	2.53E+03
	轻工制造业	1.51E+07	1.02E+09	2.07E+07	5.55E+06	1.71E+08	4.04E+06
	重工业	9.49E+07	4.83E+09	2.58E+08	1.83E+07	3.34E+08	2.91E+07
	建设和公共事业	3.22E+06	3.60E+09	1.30E+07	8.99E+05	1.12E+09	1.41E+06
	交通和通讯	1.30E+07	9.61E+08	3.62E+07	2.24E+05	3.83E+07	5.79E+05
	其它服务	2.93E+06	3.82E+08	4.73E+06	1.03E+05	2.24E+07	1.91E+05
	总计	1.41E+08	1.22E+10	3.91E+08	2.51E+07	1.70E+09	3.54E+07
ROW							
	农作物	1.30E+07	1.75E+07	1.52E+08	1.20E+05	1.73E+05	2.93E+06
	家畜和肉制品	4.05E+06	3.83E+06	1.32E+08	85936	52773	4.49E+06
	开采和提取	1.44E+07	8.46E+07	3.03E+08	27633	47452	3.28E+06
	加工食品	1.53E+07	1.35E+07	2.43E+08	83698	78271	1.88E+07
	纺织品和服装	1.81E+07	4.96E+07	1.40E+08	2.32E+05	6.46E+05	4.79E+06
	轻工制造业	1.22E+08	8.97E+07	8.01E+08	4.13E+07	1.81E+07	1.52E+08
	重工业	4.64E+08	4.37E+08	2.87E+09	7.71E+07	5.90E+07	2.56E+08
	建设和公共事业	1.97E+07	1.57E+07	2.70E+09	2.00E+06	1.97E+06	7.49E+08
	交通和通讯	1.00E+08	2.47E+07	1.86E+09	9.75E+05	3.22E+05	6.47E+07
	其它服务	2.69E+07	1.13E+07	6.72E+08	2.09E+06	1.08E+06	6.95E+07
	总计	7.97E+08	7.47E+08	9.88E+09	1.24E+08	8.14E+07	1.33E+09
从\到	产品	家庭消费			政府消费		
		G7	BRIC	ROW	G7	BRIC	ROW
G7							
	农作物	4.15E+07	3.88E+06	1.23E+07	4.65E+05	2.04E+04	6.90E+04

	家畜和肉制品	8.32E+07	3.39E+06	1.09E+07	1.40E+05	3.02E+04	7.57E+04
	开采和提取	1.50E+07	1.52E+06	5.91E+06	5.21E+04	5.27E+02	5.70E+02
	加工食品	3.81E+08	1.46E+07	3.71E+07	1.54E+05	5.19E+03	9.36E+03
	纺织品和服装	9.95E+07	7.02E+07	6.39E+07	3.09E+05	4.94E+04	4.66E+04
	轻工制造业	4.49E+08	8.52E+07	9.48E+07	5.97E+05	7.25E+04	1.08E+05
	重工业	5.05E+08	7.54E+07	1.33E+08	1.25E+07	2.37E+06	6.59E+06
	建设和公共事业	1.30E+09	2.98E+06	1.27E+07	5.12E+05	1.41E+04	2.96E+04
	交通和通讯	1.43E+09	1.48E+07	1.05E+08	1.83E+07	2.72E+05	1.85E+06
	其它服务	1.32E+09	4.22E+06	1.74E+07	9.20E+08	1.40E+06	3.83E+06
	总计	5.62E+09	2.76E+08	4.92E+08	9.53E+08	4.23E+06	1.26E+07
BRIC							
	农作物	3.56E+05	2.32E+08	1.52E+06	7.28E+03	6.12E+05	1.28E+04
	家畜和肉制品	6.75E+05	1.06E+08	1.04E+06	7.48E+02	1.04E+06	9.27E+02
	开采和提取	4.28E+04	3.38E+07	4.97E+05	3.47E+00	1.02E+04	3.98E+01
	加工食品	1.27E+06	2.75E+08	7.40E+06	4.29E+02	9.84E+05	2.73E+03
	纺织品和服装	1.13E+06	9.28E+07	5.66E+06	5.76E+03	1.29E+05	2.17E+04
	轻工制造业	4.53E+06	1.39E+08	4.84E+06	1.05E+05	5.74E+06	3.36E+05
	重工业	6.78E+06	2.61E+08	1.68E+07	4.76E+04	1.01E+07	1.24E+05
	建设和公共事业	2.89E+05	1.00E+09	1.16E+06	5.36E+03	1.14E+07	9.48E+03
	交通和通讯	4.39E+06	4.06E+08	1.19E+07	2.99E+05	3.31E+07	6.65E+05
	其它服务	2.10E+06	3.20E+08	2.74E+06	4.85E+05	4.26E+08	5.59E+05
	总计	2.16E+07	2.87E+09	5.36E+07	9.56E+05	4.89E+08	1.73E+06
ROW							
	农作物	6.23E+06	9.48E+06	1.18E+08	84259	83468	1.80E+06
	家畜和肉制品	3.81E+06	4.83E+06	1.20E+08	27026	29597	3.72E+05
	开采和提取	1.66E+06	3.39E+06	4.05E+07	4192.3	8351.2	4.53E+05
	加工食品	1.75E+07	1.37E+07	3.17E+08	62485	48413	9.81E+05
	纺织品和服装	1.34E+07	4.46E+07	1.10E+08	28561	84211	6.26E+05
	轻工制造业	5.41E+07	4.16E+07	2.42E+08	6.23E+05	4.51E+05	2.41E+06
	重工业	7.18E+07	5.91E+07	4.35E+08	4.61E+06	3.17E+06	1.67E+07
	建设和公共事业	9.27E+06	6.76E+06	1.05E+09	19192	18362	3.24E+06
	交通和通讯	5.08E+07	1.23E+07	1.15E+09	1.33E+06	4.50E+05	6.35E+07
	其它服务	1.34E+07	4.65E+06	5.08E+08	5.80E+06	2.23E+06	5.94E+08
	总计	2.42E+08	2.00E+08	4.09E+09	1.26E+07	6.58E+06	6.84E+08

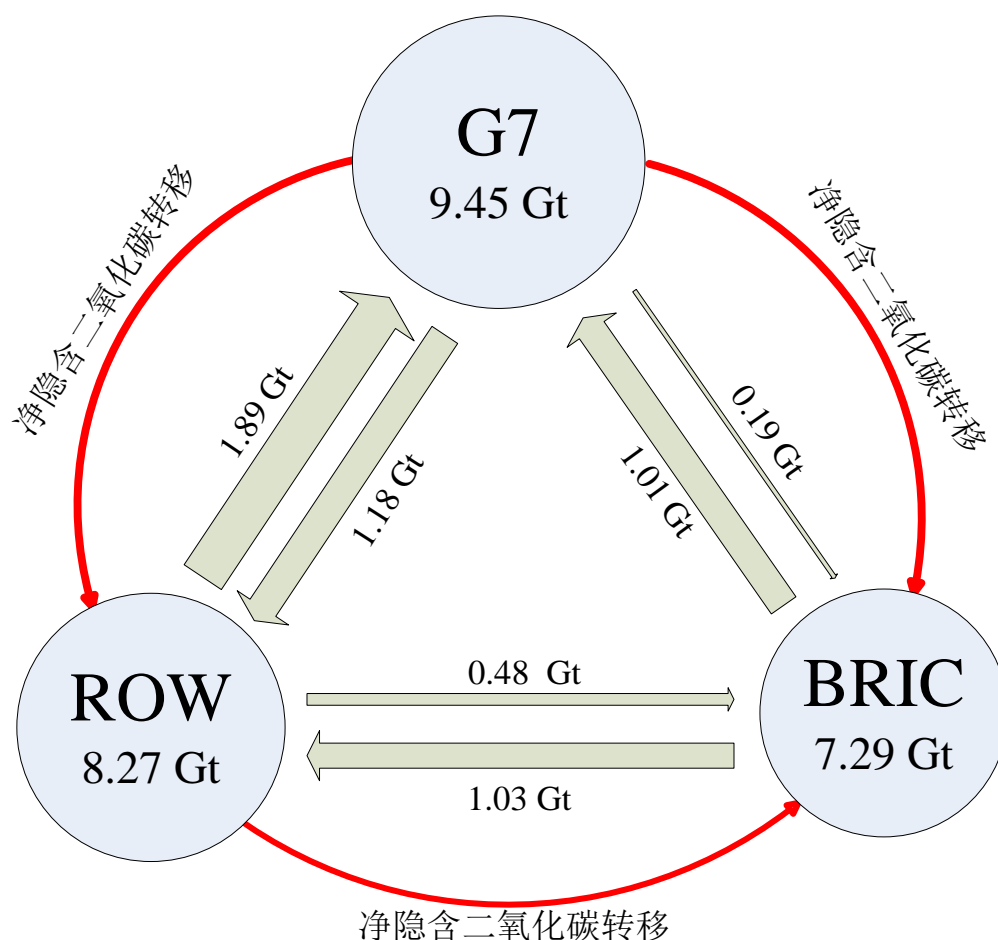


图 3 关于二氧化碳隐含量的多边贸易平衡(圈中显示的是相互结合的直接二氧化碳排放,在此图和接下来的图中“Gt”代表“十亿吨”)

家庭和政府的消费可以被看成是对国内居民直接和间接的福利,而工业中间品和投资则被划归为生产活动,图 4 和图 5 给出了三个多国集团隐含在不同产品类别中的二氧化碳排放的 EEP 和 EEC(两个指标都排除了直接排放)。根据图 4 来看,金砖四国极度依赖重工业、建筑业和公共事业,这几项就占据了高达 71%的二氧化碳 EEP;七国集团国家则较为均衡,交通运输(20%)、轻工业(12%)和其他服务项目

(9%)构成了其 EEP 的主要框架；而世界其他国家和地区则因为其是由诸多发达和发展中国家所构成的多国集团，其 EEP 结构也介于前两者之间。根据图 5 所展示的消费活动情况，七国国家集团的大部分 EEC 来自于其他服务(31%)，尤其是来自其中的公共部门、国防部门、健康部门、教育部门、娱乐部门和其他服务。与此同时，金砖四国居民消费造成的二氧化碳排放中很大一部分可以归咎于建筑业和公共事业(29%)，而这其中的 90%以上都是由巨大的住宅电力需求所引起的。世界其他国家和地区同样具有中间过渡式结构。但是与之前不同的是，三个多国集团的 EEC 总量有着极大的差异：七国集团国家的总量是世界其他国家和地区的 1.41 倍，是金砖四国的 2.15 倍！

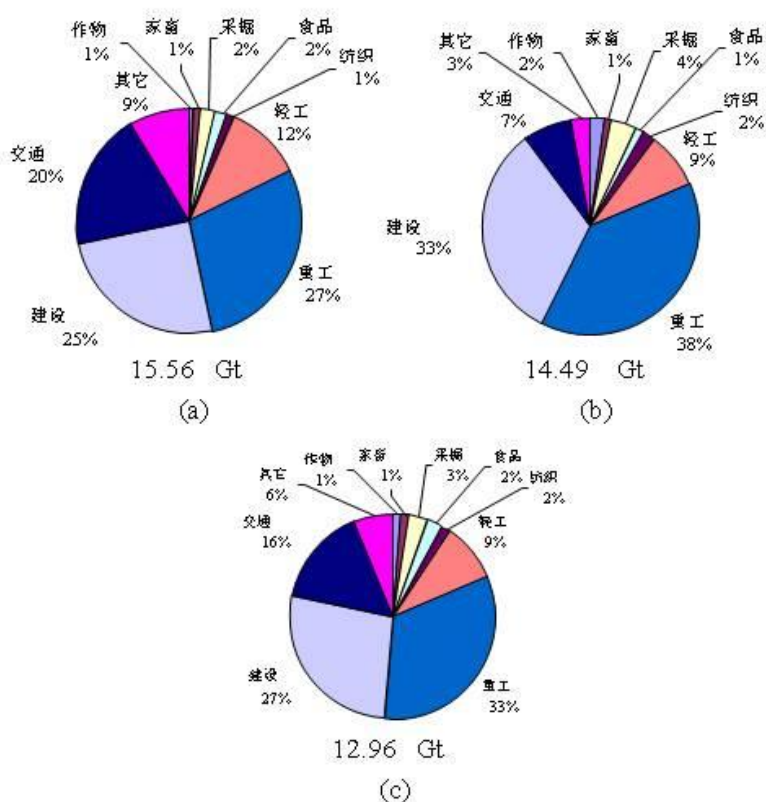


图 4 生产产品隐含排放(EEP)的组成：(a)G7，(b)BRIC，(c)ROW(在此图和接下来的图中，“作物”代表“农作物”，“家畜”代表“家畜和肉制品”，“采掘”代表“开采和提取”，“食品”代表“加工食品”，“纺织”代表“纺织品和服装”，“轻工”代表“轻工制造业”，“重工”代表“重工业”，“建设”代表“建设和公共事业”，“交通”代表“交通和通讯”，“其它”代表“其它服务”)

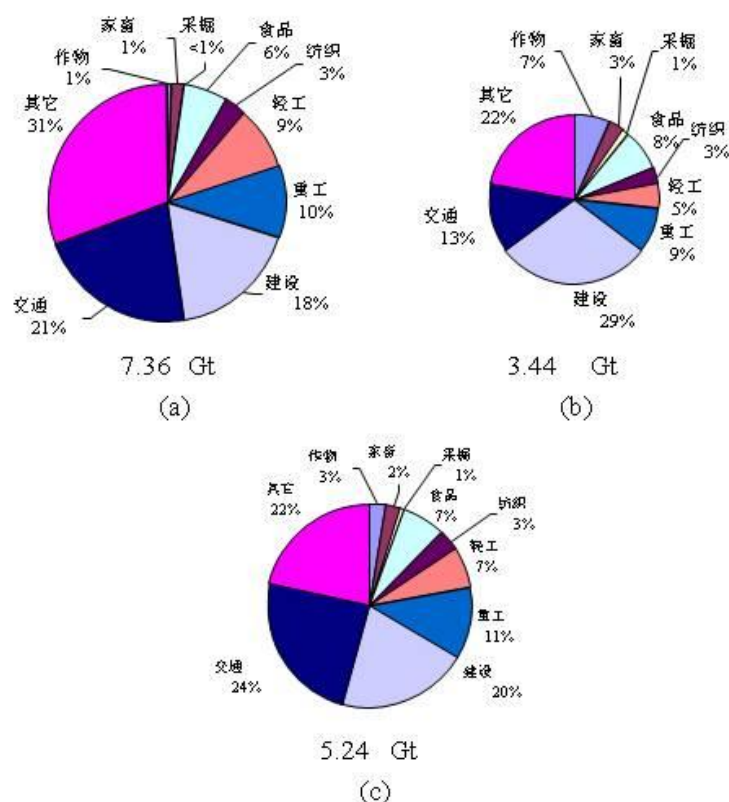


图 5 消费隐含排放(EEC)的组成：(a)G7，(b)BRIC，(c)ROW

正如图 6 中展示的那样，重工业制品进口占据了七国集团国家 (48%)和世界其他国家和地区(52%)近一半的 EEI，而轻工业(16%和 16%)和交通运输(14%和 9%)分别占据了其各自的第二第三的位置。对于金砖四国来说，重工业占据了总 EEI 的近三分之二(63%)，紧跟其后的则是交通运输的 10%和轻工业的 8%。这些结果表明，金砖四国与其他两个多国集团相比有更多的进口用于生产(也因此，消费进口就更少)。除此之外，金砖四国总的 EEI 仅相当于七国集团国家的 23%或世界其他国家和地区的 30%，这也表明了四个快速发展的经济

体极少向其他多国集团转移其排放影响的这一事实。图 7 展示给我们的是，重工业对 **EEE** 的贡献几乎一致(七国国家集团 53%，金砖四国 52%，世界其他国家和地区 49%)，而各自的第二、三位则分别为轻工业(17%)和交通运输(13%)，轻工业(17%)和纺织服装业(10%)，交通运输(17%)和轻工业(12%)。最后，三个国家多国集团的总 **EEE** 量分别为 13.6 亿吨、20.4 亿吨和 23.7 亿吨。

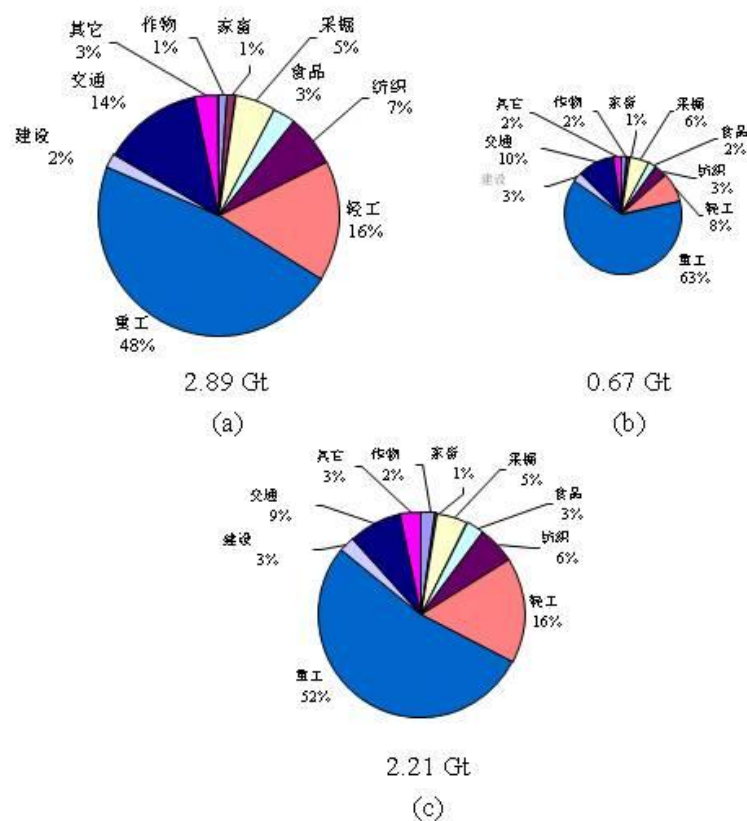


图 6 进口隐含排放(EEI)的组成: (a)G7, (b)BRIC, (c)ROW

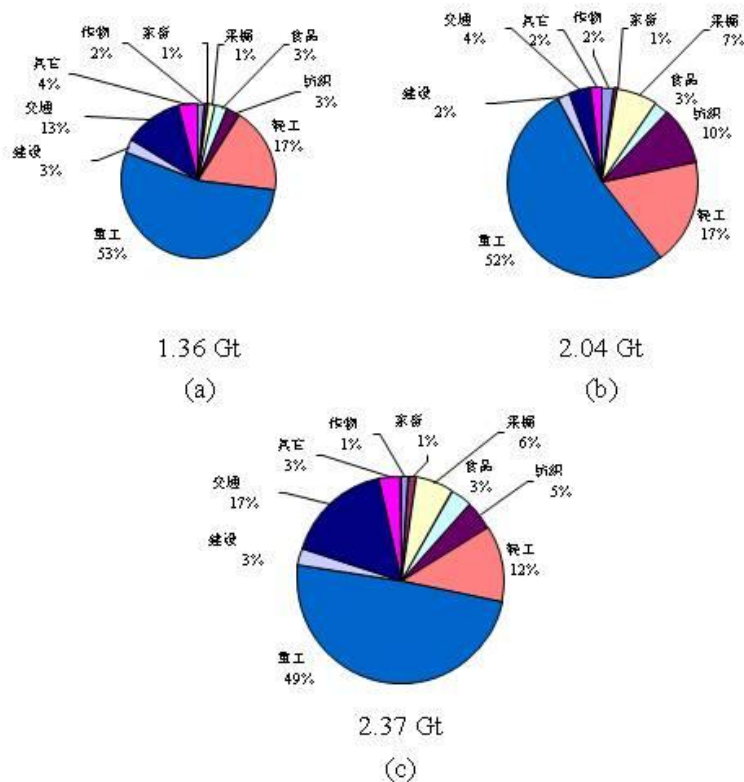


图 7 出口隐含排放(EEE): (a)G7, (b)BRIC, (c)ROW

当谈及由家庭化石燃料使用造成的直接排放时,各个多国集团的居民消费活动直接排放分别为 92.7 亿吨、41.6 亿吨和 65.8 亿吨,总和占掉了全球消费的 79.7%,而隐含在投资活动中的二氧化碳排放则分别为 18 亿吨、17.6 亿吨和 15.4 亿吨,总和则为全球投资的 20.3%。考虑到各多国集团的人口情况,人均消费造成的二氧化碳排放分别为 12.95 吨、1.53 吨和 2.22 吨。而如果把二氧化碳排放配额视为一种特殊的环境福利的话,无疑我们可以断言,七国集团国家的居民享受的碳福利是世界其他国家和地区居民的 5 倍,是金砖四国居民的 7 倍!

四、结束语

当前政策只对附件 B 国家的直接温室气体排放进行限制, 该政策导致了发达国家与发展中国家之间的产业转移, 而这又导致了对全球减排效果的抵消。相反, 以消费为基础的核算说明了碳排放的驱动力, 从而为明确由附件 B 国家导致但非其直接排放的气候变化责任提供了数据基础(Davis and Caldeira, 2010)。此外, 对于不同的国家, 在后哥本哈根时代不同国家根据其国际关系组成多国集团阵营将成为一种重要的策略。先前的研究经常根据国家的经济条件对其分组。很显然, 比起相关的只是涉及经济条件的简单联盟分组, 多国集团在一起怎样运作、为什么要一起运作的问题要复杂得多。作为先前研究的一个补充, 本调查旨在揭示说明基于地缘政治力量的国际贸易与其隐含的温室气体排放情况, 为国际气候协商提供新的视角。因此, 本研究通过多区域投入产出(MRIO)模型对相关现象进行研究, 它强调了两个最具关注度的地缘政治阵营, 即最成熟的发达经济体和发展最迅猛的发展中经济体, 而作为参照, 世界其他国家和地区作为其余所有经济体的集合而被考虑在内。

通过对这三个多国集团的生产、消费、进口和出口所隐含排放的计算, 本研究发现七国集团国家(显著的 15.3 亿吨盈余, 占其进出口总排放的 36%)和金砖四国(显著的 13.7 亿吨赤字, 占其进出口总排放的 21%)在碳贸易当中分别具有极大的盈余和赤字, 而世界其他国家和地区与地区的碳贸易则接近平衡(无关紧要的 1.6 亿吨赤字, 占其进出口总

排放的 3%)。

进一步的分析证实了排放转移和泄露对《京都议定书》实施的基于生产者的温室气体排放限制政策产生了影响。总的 EEI 和 EAI 对比表明了当前国际贸易未能通过纯粹的生产经济再分配来帮助减少全球二氧化碳排放。对于特定的区域经济，EEI 和 EAI 之间的对比也对指导国际贸易模式和国际产业结构调整具有实践意义。比如，引起低 EEI 但高 EAI 的进口应该被鼓励，而造成高 EEI 但低 EAI 的进口应该被重点限制。为了达到这些目的，诸如碳税和补贴等经济工具应进一步使用以便于更好地发挥“看不见的手”的作用。虽然全球统一标准的碳税能在碳排放上增添重要的经济标签并将其内化为经济领域问题，但这种方法一定会对更贫穷的人造成损害，因此在很多场合会出现比较重大的争议。作为备选方案，一种在碳成本方面依照生产效率的更加灵活而有差异的税收和补贴政策可能更有应用价值。本研究所发现的不同集团进行生产所具有的比较优势和绝对优势差别可以被用来对调整地区和全球经济结构：在区域范围内，国内碳税和补贴应该实现引导投资进入有绝对优势部门的目标，加快技术创新，升级碳密集型部门；在世界或者超国家地区的更大范围内，政策应该在比较优势的基础上优先提出，从而鼓励或者抑制某些生产，影响交易模式，加速技术扩散。

关于每个人享有平等排放配额并承担温室气体排放同等责任的权利，三个多国集团之间的人均碳福利不平等也应当受到重视。根据 Beckerman 和 Pasek(1995)以及 Bähringer 和 Welsch(2004)的相关研究，

一个面向人均排放权利平等的预期未来状态在早期的气候公约草案中被明确提及。根据公平指数并未直接纳入当前减排政策中这一事实，解决不平等问题的最务实的措施似乎是制定一个合理的补偿计划，包括由发达国家对不发达国家提供的资金和技术转移。

关于在经济和政策领域为世界领头的七国集团国家和金砖四国，这两大巨型多国集团的相互理解合作将有助于为解决气候问题达成能为全球所接受的协议。然而，这个合作以及其它国际合作最主要的政治障碍，在于每个参与成员可能会寻求自身而不是全球的最大利益。此外，就通过国际联盟形式达成排放框架途径的相关方式也相对缺乏。因此，本研究的贡献之一，是通过探索主要地缘政治联盟的大致轮廓来引领关于全球碳减排的国际合作的新兴趋势。

将本研究与 Davis 和 Caldeira(2010)里程碑式的工作进行比较并非多此一举，这两者都强调了基于消费的 2004 年的二氧化碳排放核算(该核算也以 GTAP 数据库为基础)。依托于国家尺度的原始数据库，Davis 和 Caldeira(2010)提供了排放清单，并计算了每个被研究地区的能源和碳强度，这对有着国家特定利益诉求的研究者和政策制定者来说是有意义的。相反，本研究说明了主要地缘政治联盟的排放轮廓，重点在超国家视角而非国家特定视角的政策含义。

在未来的研究中，为了从完整的排放结构以及贸易模式中获取足够的信息，温室气体的详细清单——包括排放种类、来源等等——都应加以仔细考察和研究。再者，详细落实到各个部门的购买力也应该成为研究实际生产力的一部分。除此之外，现有的关于历史沿革的分

析研究也可以进一步深入以研究能源焦点问题的影响(例如能源价格对全球经济衰退的影响等等)和政策的效力(例如《京都议定书》的效力等等)。

附录

附表 A1 有关地区和联盟的人口及购买力平价

地区	人口(百万)	GNI(美元)	GNI(国际元)	PPP
巴西	183.91	6.13E+11	1.45E+12	2.36
加拿大	31.96	9.13E+11	1.03E+12	1.13
中国大陆	1307.99	1.94E+12	4.65E+12	2.40
法国	60.26	1.90E+12	1.78E+12	0.94
德国	82.65	2.55E+12	2.48E+12	0.97
印度	1087.12	6.81E+11	2.15E+12	3.16
意大利	58.03	1.56E+12	1.59E+12	1.02
日本	127.92	4.69E+12	3.78E+12	0.81
俄罗斯	143.9	4.91E+11	1.51E+12	3.08
英国	59.48	2.05E+12	1.91E+12	0.93
美国	295.41	1.21E+13	1.17E+13	0.97
世界	6404.68	4.06E+13	5.24E+13	1.29
七国集团	715.71	2.57E+13	2.43E+13	0.94
金砖四国	2722.92	3.72E+12	9.77E+12	2.62
世界其它地区	2966.05	1.11E+13	1.83E+13	1.65

GNI: 国民总收入

附表 A2 由 57 个领域、10 个种类编制的直接二氧化碳 排放量和隐含二氧化碳 排放强度(单位: 吨)

项目	领域	种类	直接排放量(吨)		
			G7	BRIC	ROW
1	水稻	农作物	3.06E+06	6.42E+06	3.83E+06
2	小麦	农作物	7.07E+06	5.91E+06	8.93E+06
3	未分类谷物	农作物	1.06E+07	5.61E+06	1.52E+07
4	蔬菜、水果、坚果	农作物	1.62E+07	4.11E+07	2.21E+07

5	油籽	农作物	5.55E+06	6.69E+06	1.15E+07
6	甘蔗、甜菜	农作物	8.11E+05	1.43E+06	3.51E+06
7	植物纤维	农作物	2.00E+06	4.44E+06	1.03E+07
8	未分类农作物	农作物	2.23E+07	2.69E+06	2.24E+07
9	牛、绵羊、山羊、马	家畜和肉制品	4.39E+06	4.33E+06	8.59E+06
10	未分类动物产品	家畜和肉制品	9.58E+06	2.06E+07	9.74E+06
11	鲜奶	家畜和肉制品	4.07E+06	3.97E+06	6.82E+06
12	羊毛、蚕丝茧	家畜和肉制品	8.09E+04	1.55E+06	1.22E+06
13	林业	开采和提取	5.61E+06	1.19E+07	7.94E+06
14	渔业	开采和提取	2.29E+07	2.03E+07	3.26E+07
15	煤炭	开采和提取	2.27E+06	9.38E+07	6.17E+06
16	石油	开采和提取	1.64E+06	2.79E+07	8.48E+06
17	天然气	开采和提取	3.50E+07	2.86E+07	6.72E+07
18	未分类矿物	开采和提取	2.39E+07	2.65E+07	4.46E+07
19	肉类：牛、绵羊、山羊、马	家畜和肉制品	8.18E+06	1.59E+06	7.15E+06
20	未分类肉制品	家畜和肉制品	4.45E+06	1.06E+06	6.49E+06
21	植物油和脂肪	加工食品	4.43E+06	5.94E+06	7.99E+06
22	奶制品	加工食品	1.18E+07	1.06E+07	1.91E+07
23	大米	农作物	4.29E+05	1.72E+07	1.77E+06
24	糖	加工食品	9.21E+06	3.97E+06	5.04E+06
25	未分类食物产品	加工食品	5.18E+07	2.78E+07	3.58E+07
26	饮料及烟草制品	加工食品	2.31E+07	1.86E+07	1.72E+07
27	纺织品	纺织品和服装	1.38E+07	3.26E+07	2.59E+07
28	服装	纺织品和服装	5.59E+06	1.48E+07	9.31E+06
29	革制品	轻工制造业	2.05E+06	4.31E+06	5.07E+06
30	木制品	轻工制造业	1.42E+07	1.07E+07	9.03E+06
31	纸质品、出版物	轻工制造业	1.12E+08	5.37E+07	6.31E+07
32	石油、煤炭产品	重工业	3.30E+08	3.16E+08	4.67E+08
33	化工、橡胶、塑料制品	重工业	2.54E+08	1.82E+08	3.71E+08
34	未分类矿物产品	重工业	1.54E+08	4.49E+08	2.70E+08
35	黑色金属	重工业	1.40E+08	3.19E+08	2.06E+08
36	未分类金属	重工业	3.17E+07	6.08E+07	4.54E+07
37	金属产品	轻工制造业	2.16E+07	1.66E+07	2.46E+07
38	汽车及零部件	轻工制造业	1.79E+07	1.04E+07	9.26E+06
39	未分类运输设备	轻工制造业	7.65E+06	6.72E+06	6.10E+06
40	电子设备	重工业	1.03E+07	5.87E+06	1.55E+07
41	未分类机械设备	重工业	3.82E+07	4.17E+07	3.18E+07
42	未分类制造品	轻工制造业	7.92E+06	4.38E+06	3.53E+07
43	电力	建设和公共事业	3.62E+09	3.77E+09	3.01E+09
44	天然气生产分配	建设和公共事业	8.28E+07	6.47E+07	8.63E+07
45	水	建设和公共事业	2.33E+07	2.52E+06	1.29E+07
46	建筑	建设和公共事业	3.91E+07	3.09E+07	5.02E+07
47	贸易	交通和通讯	1.16E+08	2.43E+07	1.08E+08
48	未分类运输	交通和通讯	1.30E+09	4.35E+08	9.84E+08

49	海运	交通和通讯	8.79E+07	1.02E+08	2.02E+08
50	空运	交通和通讯	5.49E+08	6.50E+07	2.47E+08
51	通讯	交通和通讯	7.53E+06	2.87E+06	1.61E+07
52	未分类金融服务	其它服务	1.49E+07	5.78E+06	9.71E+06
53	保险	其它服务	2.53E+06	5.88E+06	1.74E+06
54	未分类商业服务	其它服务	9.32E+07	3.97E+07	5.63E+07
55	娱乐和其它服务	其它服务	4.59E+07	7.99E+06	2.62E+07
56	公共管理、国防、卫生、教育	其它服务	2.01E+08	8.16E+07	1.29E+08
57	民居	其它服务	1.85E+04	7.19E+03	1.07E+04
58	家用		1.91E+09	7.26E+08	1.35E+09
59	总计		9.54E+09	7.29E+09	8.27E+09

附表 A2(续)

项目	基于市场汇率的隐含强度(吨/百万美元)			基于 PPP 的隐含强度(吨/百万国际元)		
	G7	BRIC	ROW	G7	BRIC	ROW
1	355.92	862.95	336.37	377.47	328.92	204.43
2	505.79	3604.51	668.69	536.40	1373.86	406.40
3	554.90	1298.36	583.40	588.49	494.87	354.57
4	368.19	1203.87	387.78	390.47	458.86	235.68
5	401.36	1246.65	698.08	425.66	475.16	424.26
6	321.55	1294.10	564.20	341.02	493.25	342.90
7	553.07	1898.96	969.11	586.54	723.79	588.98
8	421.53	1132.49	520.40	447.04	431.65	316.28
9	446.58	1251.81	583.71	473.61	477.13	354.75
10	503.80	1063.21	501.07	534.30	405.24	304.53
11	398.08	1314.21	503.19	422.18	500.91	305.82
12	710.55	1144.02	698.24	753.56	436.04	424.36
13	301.84	1090.09	383.41	320.11	415.49	233.02
14	956.57	1316.26	877.16	1014.48	501.69	533.10
15	449.37	3115.58	820.86	476.57	1187.51	498.89
16	184.69	893.59	185.87	195.87	340.59	112.97
17	984.95	1175.09	828.15	1044.57	447.89	503.31
18	920.15	1880.98	972.89	975.85	716.94	591.28
19	446.18	1292.45	678.97	473.19	492.62	412.65
20	407.31	1061.13	524.80	431.97	404.45	318.95
21	617.73	1431.74	687.23	655.12	545.71	417.67
22	457.80	1562.17	693.76	485.51	595.42	421.64
23	393.57	1500.87	419.64	417.39	572.06	255.04
24	735.01	1637.34	545.34	779.50	624.07	331.43
25	437.48	1352.68	608.25	463.96	515.58	369.67
26	381.23	1338.44	525.25	404.31	510.15	319.22
27	475.07	1707.58	723.66	503.83	650.85	439.81

28	384.72	1224.99	576.43	408.00	466.91	350.33
29	361.08	1123.24	591.40	382.93	428.13	359.43
30	386.24	1723.26	556.97	409.62	656.82	338.50
31	578.56	2610.57	837.86	613.58	995.02	509.22
32	1040.33	2483.98	1297.60	1103.30	946.77	788.62
33	676.39	2579.93	1148.99	717.34	983.34	698.31
34	1021.50	4793.96	1858.50	1083.33	1827.22	1129.51
35	1241.73	3721.03	2085.84	1316.90	1418.27	1267.68
36	1138.63	3446.78	1536.57	1207.56	1313.74	933.86
37	523.79	2432.95	946.32	555.49	927.32	575.13
38	453.31	1584.90	570.36	480.75	604.09	346.64
39	362.04	1563.32	610.04	383.95	595.86	370.76
40	419.47	1112.19	561.41	444.87	423.91	341.20
41	387.97	1892.37	669.29	411.46	721.28	406.76
42	428.78	1287.49	831.12	454.74	490.73	505.12
43	5750.30	17628.37	7355.02	6098.38	6719.08	4470.06
44	1080.66	6511.70	1901.90	1146.07	2481.94	1155.89
45	540.35	3469.84	922.59	573.06	1322.53	560.71
46	298.83	1949.37	602.25	316.91	743.01	366.02
47	247.39	797.58	489.46	262.36	304.00	297.47
48	1286.01	2635.71	1824.51	1363.86	1004.60	1108.86
49	2596.56	3396.74	4049.86	2753.74	1294.67	2461.33
50	2203.86	3818.90	2186.64	2337.27	1455.58	1328.94
51	180.28	781.46	320.12	191.20	297.85	194.56
52	113.64	377.62	262.67	120.52	143.93	159.64
53	124.92	872.17	197.26	132.49	332.43	119.89
54	165.81	949.14	290.40	175.84	361.76	176.49
55	400.86	1177.72	439.12	425.12	448.89	266.88
56	199.96	963.98	320.54	212.07	367.42	194.81
57	30.33	141.18	63.77	32.16	53.81	38.75

参考文献

- [1] 周江波, 2008.《国民经济的体现生态要素核算》. 北京大学工学院博士论文.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局/中国国家标准化管理委员会, 2008.《焦炭单位产品能源消耗限额》.
- [3] Ackerman, F., Ishikawa, M., Suga, M., 2007. The carbon content of Japan-US trade. *Energy Policy* 35 (9), 4455-4462.
- [4] Ahmad, N., Wyckoff, A.W., 2003. Carbon Dioxide Emissions Embodied in International Trade of Goods. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, France.
- [5] Andrew, R., Peters, G.P., Lennox, J., 2010. Approximation and regional aggregation in multi-regional input-output analysis for national carbon footprint accounting. *Economic Systems Research* 21 (3), 311-335.
- [6] Beckerman, W., Pasek, J., 1995. The equitable international allocation of tradable carbon emission permits. *Global Environmental Change* 5 (5), 404-413.
- [7] Böhringer, C., Welsch, H., 2004. Contraction and convergence of carbon emissions: An intertemporal multi-region CGE analysis. *Journal of Policy Modeling* 26 (1), 21-39.
- [8] Chen, G.Q., Chen, Z.M., 2010a. Carbon emissions and resources use by Chinese economy 2007: A 135-sector inventory and input-output embodiment. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 15 (11), 3647-3732.
- [9] Chen, G.Q., Chen, Z.M., 2010b. Greenhouse gas emissions and natural resources use by the world economy: Ecological input-output modeling. *Ecological Modelling*, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2010.11.024.
- [10] Chen, G.Q., Chen, Z.M., 2010c. Energy induced carbon dioxide emissions by the world economy: A systems ecological input-output simulation of the global trading network. Keynote speech for 2010 International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE 2010), June 19-20, Beijing, China. Chen, G.Q., Zhang, B., 2010. Greenhouse gas emissions in China 2007: Inventories and input-output analysis. *Energy Policy* 38 (10), 6180-6193.
- [11] Chen, Z.M., Chen, B., Chen, G.Q., 2009. Network calculation of embodied resources and emissions for the global economy based on ecological input-output model. ISEM 2009 Conference—Ecological Modelling for Enhanced Sustainability in Management, Quebec, Canada.
- [12] Chen, Z.M., Chen, G.Q., Zhou, J.B., Jiang, M.M., Chen, B., 2010. Ecological input-output modeling for embodied resources and emissions in Chinese economy 2005. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 15 (7), 1942-1965.

- [13]Costanza, R., 1980. Embodied energy and economic valuation. *Science* 210 (4475), 1219-1224.
- [14]Davis, S.J., Caldeira, K., 2010. Consumption-based accounting of CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 (12), 5687-5692.
- [15]Duchin, F., 2005. A world trade model based on comparative advantage with m regions, n goods, and k factors. *Economic Systems Research* 17 (2), 141-162.
- [16]Fan, Y., Liang, Q.M., Wei, Y.M., Okada, N., 2007. A model for China's energy requirements and CO₂ emissions analysis. *Environmental Modelling and Software* 22 (3), 378-393.
- [17]Friot, D., Steinberger, J., Antille, G., Jolliet, O., 2007. Tracking environmental impacts of consumption: An economic-ecological model linking OECD and developing countries. 16th International Input-Output Conference of the International Input-Output Association (IIOA), Istanbul, Turkey.
- [18]Guan, D., Hubacek, K., Weber, C.L., Peters, G.P., Reiner, D.M., 2008. The drivers of Chinese CO₂ emissions from 1980 to 2030. *Global Environmental Change* 18 (4), 626-634.
- [19]Guan, D., Peters, G.P., Weber, C.L., Hubacek, K., 2009. Journey to world top emitter: An analysis of the driving forces of China's recent CO₂ emissions surge. *Geophysical Research Letters* 36, p. L04709.
- [20]Hertwich, E.G., Peters, G., 2009. Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis. *Environmental Science and Technology* 43 (16), 6414-6420.
- [21]Homma, T., Akimoto, K., Toshimasa, T., 2008. Evaluation of sectoral and regional CO₂ emissions: Production-based and consumption-based accounting measurements. 11th Annual Conference on Global Economic Analysis, Helsinki, Finland.
- [22]Huettner, D.A., 1982. Economic values and embodied energy. *Science* 216 (4550), 1141-1143.
- [23]IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. National Greenhouse Gas Inventories Programme, International Panel on Climate Change, Hayama, Japan.
- [24]IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Cambridge University Press, Cambridge, UK / New York, US.
- [25]Lee, H.L., 2008. The combustion-based CO₂ emissions data for GTAP Version 7 Data Base. Center for Global for Global Trade Analysis, Purdue University, West Lafayette, US.
- [26]Leontief, W. Structure of the world economy: Outline of a simple input-output formulation. *American Economic Review* 64 (6), 823-834.
- [27]Leontief, W., 1970. Environmental repercussions and the economic structure: An input-output approach. *Review of Economics and Statistics* 52 (3), 262-271.
- [28]Li, Y., Hewitt, C.N., 2008. The effect of trade between China and the UK on national and global carbon dioxide emissions. *Energy Policy* 36 (6), 1907 – 1914.
- [29]Liang, Q.M., Fan, Y., Wei, Y.M., 2007. Multi-regional input-output model for

- regional energy requirements and CO2 emissions in China. *Energy Policy* 35 (3), 1685-1700.
- [30] Limmeechokchai, B., Suksuntornsiri, P., 2007. Embedded energy and total greenhouse gas emissions in final consumptions within Thailand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11 (2), 259-281.
- [31] Lin, B., Sun, C., 2010. Evaluating carbon dioxide emissions in international trade of China. *Energy Policy* 38 (1), 613-628.
- [32] Liu, X.B., Ishikawa, M., Wang, C., Dong, Y.L., Liu, W.L., 2010. Analyses of CO2 emissions embodied in Japan-China trade. *Energy Policy* 38 (3), 1510-1518.
- [33] McGregor, P.G., Swales, J.K., Turner, K., 2008. The CO2 'trade balance' between Scotland and the rest of the UK: Performing a multi-region environmental input-output analysis with limited data. *Ecological Economics* 66 (4), 662-673.
- [34] Miller, R.E., Blair, P.D., 2009. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, 2nd Edition. Cambridge University Press, New York, US.
- [35] Nakano, S., Okamura, A., Sakurai, N., Suzuki, M., Tojo, Y., Yamano, N., 2009. The Measurement of CO2 Embodiments in International Trade: Evidence from the Harmonised Input-output and Bilateral Trade Database. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, France.
- [36] Norman, J., Charpentier, A.D., MacLean, H.L., 2007. Economic input-output life-cycle assessment of trade between Canada and the United States. *Environmental Science and Technology* 41 (5), 1523-1532.
- [37] Pan, J., Philips, J., Chen, Y., 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.
- [38] Peter, G., Weber, C., Guan, D.B., Hubacek, K. China's growing CO2 emissions—A race between increasing consumption and efficiency gains. *Environmental Science and Technology* 2007, 41 (17), 5939-5944.
- [39] Peters, G.P., 2007. Opportunities and challenges for environmental MRIO modeling: Illustrations with the GTAP database. 16th International Input-Output Conference of the International Input-Output Association (IIOA), Istanbul, Turkey.
- [40] Peters, G.P., Hertwich, E.G., 2008. CO2 embodied in international trade with implications for global climate policy. *Environmental Science and Technology* 42 (5), 1401-1407.
- [41] Strausz-Hupe, R., 1972. *Geopolitics: The Struggle for Space and Power*. Arno Press, New York, US.
- [42] Strømman, A.H., Duchin, F., 2006. A world trade model with bilateral trade based on comparative advantage. *Economic Systems Research* 18 (3), 281-297.
- [43] Van Vuuren, D.P., den Elzen, M.G.J., van Vliet, J., Kram, T., Lucas, P., Isaac, M., 2009. Comparison of different climate regimes: The impact of broadening participation. *Energy Policy* 37 (12), 5351-5362.
- [44] Weber, C.L., Peters, G.P., 2009. Climate change policy and international trade: Policy considerations in the US. *Energy Policy* 37 (2), 432-440.
- [45] Weber, C.L., Peters, G.P., Guan, D., Hubacek, K., 2008. The contribution of

- Chinese exports to climate change. *Energy Policy* 36 (9), 3572-3577.
- [46] Wiedmann, T., 2009. A review of recent multi-region input-output models used for consumption-based emission and resource accounting. *Ecological Economics* 69 (2), 211-222.
- [47] Wiedmann, T., Lenzen, M., Turner, K., Barrett, J., 2007. Examining the global environmental impact of regional consumption activities-part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics* 61 (1), 15-26.
- [48] Wilting, H.C., Vringer, K., 2009. Carbon and land use accounting from a producer's and a consumer's perspective—An empirical examination covering the world. *Economic Systems Research* 21 (3), 291-310.
- [49] Xu, M., Allenby, B., Chen, W.Q., 2009. Energy and air emissions embodied in China-U.S. trade: Eastbound assessment using adjusted bilateral trade data. *Environmental Science and Technology* 43 (9), 3378-3384.
- [50] Zhang, B., Chen, G.Q., 2010. Methane emissions by Chinese economy: Inventory and embodiment analysis. *Energy Policy* 38 (8), 4304-4316.
- [51] Zhou, S.Y., Chen, H., Li, S.C., 2010. Resources use and greenhouse gas emissions in urban economy: ecological input-output modeling for Beijing 2002. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 15 (10), 3201-3231.

（供稿：中国人民大学国家发展与战略研究院。所有权利保留。

任何机构或个人使用此文稿时，应当获得作者同意。）