
中国居民消费的碳排放趋势 及其影响因素的经验分析

彭水军 张文城*

内容提要 本文基于(进口)非竞争型投入产出模型估算了1992~2007年中国居民消费引致的碳排放量及其部门分布,并采用结构分解法分析了包括居民部门行为因素和生产部门行为因素在内的七大因素对消费碳排放变化的影响。结果发现:1992~2007年中国居民消费碳排放量呈较快增长趋势,是中国碳排放总量的重要组成部分;而居民消费碳排放主要来源于非化石能源产品与服务的消费所造成的间接排放,其中绝大部分又来自城镇居民的消费活动。结构分解分析显示,样本期内,中国居民消费碳排放量的迅速增加主要由能源产品及非能源产品与服务消费规模的增长造成,能源强度降低和能源消费结构变化是有效抑制其增加的主要因素,而生产部门能源使用结构的变化对其影响较小。另外,中间投入结构和产品消费结构有“高碳化”的趋势,已成为影响居民消费碳排放不可忽视的因素。

关键词 居民消费 碳排放 非竞争型投入产出模型 结构分解分析

一 引言

当前,中国作为能源消耗和碳排放大国,来自国际和国内的减排压力越来越大。从最终需求(也称最终使用)的角度看,能源消耗和碳排放增长无疑也是由投资(资本

* 彭水军:厦门大学经济学院国际经济与贸易系 厦门大学宏观经济研究中心 361005 电子信箱:shuijun_peng@163.com;张文城:厦门大学经济学院国际经济与贸易系 电子信箱:xmu2005it@163.com。

本文得到教育部人文社科重点研究基地重大项目(12JJD790027)、国家自然科学基金面上项目(71073131)、教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0714)、福建省社科规划重点项目(2012A009)以及厦门大学国际经济与贸易系教育发展基金的资助。作者感谢两位匿名审稿人提出的建设性意见,当然文责自负。

形成)、消费和出口“三驾马车”共同驱动的。近年来,中国出口的高速增长引起了国内外众多学者对中国贸易碳排放问题的关注(Shui 和 Harriss, 2006; Weber 等, 2008; Pan 等, 2008; 张友国, 2010; 李小平, 2010)。这些研究基于投入产出模型对中国贸易含碳量进行估算,发现出口的高速增长是近年来中国碳排放量大幅增加的重要原因。而 Guan 等(2008)的研究显示,资本投资也是中国碳排放快速增长的主要驱动因素。除了投资,消费也是国内需求的主要组成部分,而且随着国家刺激消费、扩大内需政策的进一步实施,居民消费必将在中国国民经济中发挥越来越重要的作用。因此,居民消费碳排放的变化无疑将对中国碳排放总量产生重要影响。

综合已有文献来看,有关居民消费碳排放问题的研究主要针对发达经济体,例如基于美国(Bin 和 Dowlatabadi, 2005)、日本(Morioka 和 Yoshida, 1995)、荷兰(Nijdam 等, 2005)、丹麦(Munksgaard 等, 2000)以及挪威(Peters 和 Hertwich, 2006)的研究。这些研究都发现,发达国家消费活动不但给国内造成大量的能耗和碳排放,而且通过进口给其他国家尤其是发展中国家带来环境压力。近年来,也有一些学者开始关注中国居民消费的碳排放问题。Wei 等(2007)利用消费者生活方式法(Consumer Lifestyle Approach, CLA)考察了1999~2002年中国城乡居民生活方式变化对能耗和碳排放的影响,发现大约有26%的能源消耗和30%的碳排放来自居民消费活动。基于同样的方法,Feng 等(2011)进一步比较了2001~2007年中国不同地区和不同收入水平下居民消费的能耗和碳排放,发现区位因素和收入水平对居民间接能耗和碳排放具有重要的影响。以上研究虽然考察了居民消费对中国能耗和碳排放的影响,但是并没有对消费碳排放变化的影响因素进行系统分析。Zha 等(2010)基于指数分解分析(Index Decomposition Analysis, IDA)的研究显示,1991~2004年能源强度改善是降低中国城乡居民碳排放的最重要因素,收入提高则是增加城乡碳排放的重要推动因素。而Ouyang 等(2010)指出,能源利用效率的提升在降低中国碳排放上显得力不从心,因为随着经济的快速发展,中国居民开始追求更加舒适但也更加耗能的生活模式,从而很大程度上抵消了能源效率改善的积极影响。国内学者朱勤等(2012)利用可比价投入产出表测算了1992~2005年中国居民消费品的载能碳排放量,并对其变化进行结构分解分析(Structural Decomposition Analysis, SDA)。他们的结论表明,居民消费水平与人口规模对消费品载能碳排放均表现为持续的正效应,部门排放强度表现为持续的负效应,中间需求与消费结构的影响由负变正,但总体上表现为正效应。张友国(2012)则利用非竞争型投入产出表估计了1987~2007年中国城乡居民消费的碳排放影响,并对两者的差异进行了因素分解。他发现,研究期内中国居民消费的碳排放

影响呈不断上升趋势,而城乡居民消费的间接碳排放影响都远远超过其直接碳排放影响;人口规模差异曾是缩小城乡居民碳排放差异的最重要因素,但随着城市化的不断推进,其影响逐渐减弱,取而代之的是人均消费水平差异,这一因素一直在扩大城乡居民的碳排放差异,且该因素的影响越来越大。

在已有文献的基础上,本文首先基于(进口)非竞争型投入产出模型估算了1992~2007年中国居民消费引致的直接和间接碳排放量及其部门分布,并比较了城乡居民消费碳排放影响的差异。需要指出的是,在上述估计中国居民消费的碳排放影响的文献中,Wei等(2007)和Feng等(2011)采用的是CLA法,仅有朱勤等(2012)和张友国(2012)采用了投入产出分析。^①不过,朱勤等(2012)采用的是(进口)竞争型投入产出模型,未剔除中间产品和最终产品进口的影响。而进口产品产生的碳排放发生在国外,基于竞争型投入产出模型的研究往往会高估国内实际的碳排放。此外,朱勤等(2012)的研究只对居民消费品载能碳排放(即间接碳排放)进行了估算,没有考虑居民能源消费的直接碳排放问题,也没有对城乡差异进行比较分析。但在现实经济中,居民消费的直接碳排放影响也很重要,比如家庭汽车和室内取暖的能源消耗也是碳排放的主要来源。同时估计居民消费的直接和间接碳排放影响,可以总体反映其在中国碳排放总量中所占的比重及其变化趋势,而对城乡差异的讨论则有利于制定有针对性的碳减排政策,从而提高相关政策的实施效率。

与朱勤等(2012)和张友国(2012)的研究类似,本文进一步采用SDA方法对1992~2007年中国居民消费的碳排放变化进行因素分解。^②然而,与朱勤等(2012)的研究不同的是,本文将居民消费的碳排放区分为直接和间接两部分,前者主要受到能源消费结构和能源消费规模这两个消费者行为因素的影响,而后者主要受到产品消费结构和产品消费规模两个消费者行为因素的影响,此外还受到生产部门的生产技术条件,

① Wei等(2007)和Feng等(2011)等基于CLA方法的研究无需使用投入产出表,但也因而没有考虑产业或部门之间的相互关联性。他们的研究中直接采用了《中国统计年鉴》上8大类消费品支出数据,然后结合《中国能源统计年鉴》的分部门能源消费数据和《中国统计年鉴》中部门产出数据,估算了8类消费品对应的8个生产部门的碳排放强度,然后用此强度乘以居民消费数据来估算居民消费产生的间接碳排放。显然,他们估算的这种“间接排放”其实只是一阶的间接排放,而不是完全的间接排放。而本文结合投入产出表中的消费数据部门分类更细,且与能源年鉴的部门对应更为一致,从而有效降低了消费品碳排放强度估算误差,同时通过结合投入产出分析,充分考虑产业间关联,使得估算的消费间接排放包含了消费品生命周期在各个产业部门的能源消耗所产生的碳排放,因此是产品与服务消费所造成的完全间接排放。

② 与Zha等(2010)所采用的IDA方法不同,以投入产出模型和数据为基础的SDA方法不仅可以同时分解分析居民消费的直接碳排放变化与间接碳排放变化的影响因素,还可以分析不同产业或部门之间的关联影响以及更细致地分解技术和需求变化的影响。这也是SDA相对于建立在单个部门或国家总量数据基础上IDA方法的主要优势所在(Hoekstra和van den Bergh, 2002; Su和Ang, 2012)。

包括能源强度、能源使用结构以及中间投入结构等因素的影响。朱勤等(2012)在其因素分解中未能考虑居民部门能源消费结构和生产部门能源使用结构的变化对消费碳排放的影响。张友国(2012)则重点考察的是在不同时期,城乡居民消费碳排放的差异由哪些因素引起。而本文着重分析了影响城镇或农村居民消费碳排放变化的因素,以及这些因素在促进或抑制消费碳排放时体现出来的城乡差异性。此外,在张友国(2012)的城乡碳排放差异因素分解中,由于生产部门的技术条件对城乡居民是一致的,所以没有考虑生产投入结构和技术变化对消费碳排放的影响。本文则在间接碳排放变化分解中考察了生产端因素,比如生产部门能源使用结构、能源强度以及中间投入结构变化对城镇或农村居民消费碳排放的影响。系统分析这些因素的影响对于理解中国居民消费碳排放的变化以及为决策部门制定相关政策具有重要参考价值,因此,本文是对现有文献的一个有益补充。

本文其余部分的结构安排如下:第二部分介绍模型方法及相关数据处理;第三部分对经验研究结果进行分析,主要报告历年居民消费碳排放量的趋势、部门分布、城乡差异以及七大因素对居民消费碳排放变化的影响;第四部分为主要结论及政策含义。

二 模型方法与数据处理

(一)居民消费引致的碳排放量估算模型

居民消费包括对能源产品的消费和非能源产品与服务的消费。居民消费的能源产品中,煤炭、油气产品等化石能源的使用直接产生碳排放,而非能源产品与服务的消费不直接产生碳排放,但这些产品和服务的生产往往需要消耗大量化石能源,从而造成间接碳排放。同时,居民消费的能源产品的生产过程(如电力热力生产、汽油提炼)同样会消耗能源和产生碳排放,这部分也属于消费的间接排放。据此,本文将居民消费引致的碳排放分解为直接排放和间接排放两部分。居民消费总的碳排放 Z_T 可以表示为:

$$Z_T = Z_D + Z_I \quad (1)$$

Z_D 和 Z_I 分别表示直接碳排放和间接碳排放。进一步,直接碳排放 Z_D 可表述为:

$$Z_D = FSq \quad (2)$$

其中, $F = (F_k)_{1 \times k}$, 元素 F_k 表示第 k 种能源燃烧时的碳排放系数, k 是能源种类数,本文中包括 17 种化石能源以及电力、热力共 19 种能源; $S = (S_k)_{k \times 1}$ 反映能源消费结构,元素 S_k 表示第 k 种能源占能源总消耗的比例; q 为标量,表示能源消耗总量。需

要说明的是,虽然 19 种能源中包括电力和热力,但这两种能源的使用并不直接产生碳排放,因此这两种能源的碳排放系数等于 0。而本文采用 Peters 等(2006)对中国居民部门和生产部门能源消费的估算方法,将发电和发热所使用的化石能源纳入“电力、热力生产和供应业”,所以居民消费的电力、热力所产生的碳排放包含在间接排放中。

以(进口)非竞争型投入产出模型为基础,居民消费的间接碳排放 Z_I 可表述为:

$$Z_I = F(M * E)Ly^d = F(M * E)(I - A^d)^{-1}Pc^d \quad (3)$$

其中, F 的含义同(2)式; $M = (M_{ki})_{k \times n}$ 表示各生产部门的能源使用结构,元素 M_{ki} 是第 k 种能源在第 i 个生产部门的使用比例; $E = (E_i)_{1 \times n}$ 表示能源强度,元素 E_i 表示第 i 个生产部门单位产出使用的能量量(用热量单位表示),这里符号“*”表示 E 的第 i 个元素乘以 M 中第 i 行所有元素,所以 $M * E$ 仍是 $k \times n$ 的矩阵; A^d 表示中间投入品中国产品技术系数矩阵, $L = (I - A^d)^{-1}$ 则为完全需求系数矩阵,也称里昂惕夫逆矩阵,反映各部门对各种中间投入品的完全需求结构,但不包括进口的中间投入品; $y^d = Pc^d$ 为国内最终产品消费向量,其中 $P = (P_i)_{n \times 1}$ 为消费产品结构向量,元素 P_i 表示对第 i 个部门产品的消费比例;标量 c^d 为最终产品消费总量,同样不包括进口消费品。

(二)居民消费碳排放变化的结构分解

为了进一步分析居民消费碳排放变化的影响因素,本文根据(2)和(3)式分别对居民消费的直接和间接碳排放的变化进行结构分解分析。令第 t 期的直接碳排放量为 $Z_D(t)$,第 $t-1$ 期的直接碳排放量为 $Z_D(t-1)$,则根据(2)式对两个时期直接碳排放量的变化进行增量分解如下:

$$Z_D(t) - Z_D(t-1) = \Delta S + \Delta q \quad (4)$$

其中, Δ 表示当其他因素不变时某因素变动对两个时期直接碳排放量变化的影响; ΔS 反映能源消费结构变化对直接碳排放变化的贡献,即能源消费结构变化的影响; Δq 则表示能源消费规模变化的影响。^① 类似于 Fujimagari (1989)、Munksgaard 等(2000)以及 Jacobsen(2000)的研究,我们采用两极分解的平均值确定各因素的影响。例如, ΔS 的估算式表示为:

$$\Delta S = 1/2F(t-1)[S(t) - S(t-1)]q(t) + 1/2F(t)[S(t) - S(t-1)]q(t-1) \quad (5)$$

^① 需要指出的是,除电力和热力外,本文假设样本期内各种化石能源的碳排放系数均保持不变。电力和热力的碳排放系数会发生变化是因为发电和发热的能源使用结构会发生变化,所以(2)式中向量 F 通常会随时间发生变化。但在本文中,我们将居民对电力、热力消费所引致的碳排放归为间接排放,因为电力、热力使用本身不直接产生碳排放,实际碳排放发生在电力和热力生产部门,所以直接碳排放系数 F 中电力和热力的碳排放系数被设为 0,故本文中的 F 是不随时间变化的,即 $\Delta F = 0$ 。

同理,可根据(3)式对两个时期间接碳排放的变化进行分解:

$$Z_I(t) - Z_I(t-1) = \Delta M + \Delta E + \Delta (I - A^d)^{-1} + \Delta P + \Delta c \quad (6)$$

(6)式中右边各项反映了其他因素不变时,生产部门的能源使用结构变化(ΔM)、能源强度变化(ΔE)、中间投入结构变化($\Delta (I - A^d)^{-1}$)以及居民部门的产品消费结构变化(ΔP)和产品消费规模变化(Δc)对居民消费间接碳排放变化的影响。各因素的影响的估算方法与(5)式相同。例如:

$$\begin{aligned} \Delta E = & 1/2F(t-1) \{ M(t-1) * [E(t) - E(t-1)] \} (I - A^d)^{-1}(t) P(t) c(t) \\ & + 1/2F(t) \{ M(t) * [E(t) - E(t-1)] \} (I - A^d)^{-1}(t-1) P(t-1) c(t-1) \end{aligned} \quad (7)$$

结合(4)和(6)式,我们把居民消费的直接和间接碳排放变化的影响因素归纳为包含居民部门行为因素和生产部门行为因素在内的七个因素(见表1)。

(三)数据来源及处理

表1 居民消费碳排放变化的影响因素分解

	影响因素	变量符号
居民部门行为因素	能源消费结构	ΔS
	能源消费规模	Δq
	产品消费结构	ΔP
	产品消费规模	Δc
生产部门行为因素	能源使用结构	ΔM
	能源强度	ΔE
	中间投入结构	$\Delta (I - A^d)^{-1}$

本文考察1992~2007年

中国居民消费的碳排放影响,主要需要两组数据:投入产出表和能源消费数据。1992、1997、2002和2007年的投入产出表来自历年的《中国投入产出表》,并转化为以1992年价格为基准的可比价投入

产出表,平减所用的分行业工业品出厂价格指数、农副产品价格指数、中国对外贸易指数等价格指数来自历年的《中国统计年鉴》和中国海关总署编制的《中国对外贸易指数》。中国国家统计局历年公布的投入产出表是竞争型投入产出表,中间使用和最终使用都包含了进口产品。为了避免高估国内消费的碳排放,本文采用与Weber等(2008)以及彭水军和刘安平(2010)研究类似的处理方法,以按比例分配的方法为基础,结合海关总署公布的各种贸易方式下各类产品贸易额,将上述可比价投入产出表进一步转化为(进口)非竞争型投入产出表。^①

1992、1997和2002年分部门的能源消费数据来自Peters等(2006)。本文根据

^① 中国现有1987、1992、1997、2002和2007年共5张投入产出基本表,后4张表结构比较一致,且较好地对应了能源消费数据,所以本文只选择后面4个时间点进行分析。需要指出的是,国家统计局所公布的1992年的投入产出表中最终需求部分只有净出口列,而没有出口和进口列数据。本文根据刘启运和彭志龙(2010)编制的可比价投入产出表估计得到1992年各部门的出口和进口数据。

Peters 等(2006)的估算方法得到 2007 年各生产部门和居民部门对 19 种能源的能源消费和碳排放数据。^① Peters 等(2006)的估算方法关键是考虑发电、发热所消耗的化石能源(被加到电力、热力生产供应业的化石能源消费量中),并剔除了非燃烧使用的能源数量。在这种处理方法下,居民的电力、热力消费所产生的碳排放归为电力、热力生产部门的间接排放,而非消费的直接排放。此外,能源数据与投入产出表的部门划分存在一些差异,因此本文对能源数据和投入产出表的一些部门进行合并,最终形成 26 个部门的投入产出表序列。

三 经验分析

根据第二部分给出的非竞争型投入产出模型,我们首先估算了 1992~2007 年中国居民消费引致的碳排放量的规模、部门分布及其变化趋势以及城乡差异,并进一步运用结构分解法分析了包括居民部门行为因素和生产部门行为因素在内的七大因素对居民消费碳排放变化的影响。如无特别说明,本部分所有数据均为作者估计得到,相应图表是根据估计的结果绘制而成。

(一) 中国居民消费引致的碳排放量及其变化趋势

首先,如图 1 所示,1992~2007 年中国居民消费碳排放规模呈较快的增长趋势。1992 年居民消费碳排放量为 243.8 百万吨,2007 年增至 390.3 百万吨,增长了 60.1%。但观察表 2 的估计结果我们发现,研究期间居民消费碳排放量占中国各类最终需求碳排放总量的比重有明显下降趋势,1992 年居民消费碳排放所占比重为 41.2%,2007 年下降为 29.9%。张友国(2012)也发现居民消费碳排放比重(占全国碳排放总量)由 1987 年的 45% 下降至 2007 年的 30% 左右,与本文估计的结果比较接近。政府购买的碳排放比重维持在 5.8%~9.3% 之间,而投资和出口造成的碳排放比重则分别从 1992 年的 29.4% 和 20.1% 上升至 2007 年的 35.8% 和 28.5%。^② 本文认为各类最终需求碳排放占比结构的这种变化与近年来中国以“投资驱动和出口拉动”为特征的经济增长模式密切相关。一方面,近年来最终需求中投资比重有所上

^① Peters 等(2006)参考的是 IPCC(1996)提出的方法对能源消费的碳排放量进行计算。其中各种化石能源的碳排放系数等于该能源的净热值、CO₂ 排放因子和氧化率的乘积,再乘以 12/44。各种能源净热值、CO₂ 排放因子及氧化率主要来自 IPCC(1996)。

^② 将(3)式中的国内最终产品消费向量分别替换成政府购买、投资或出口需求向量,从而可以计算出各类最终需求的碳排放量以及各类最终需求的碳排放比重和碳排放强度(结果见表 2 和图 2)。

升,同时,出口的比重大幅上升而消费的比重明显下降;另一方面,从图2中各项指标可以发现,1992~2007年消费、投资和出口的平均碳排放强度都呈快速下降的趋势,但从2002年开始相对于投资和出口,居民消费的平均碳排放强度更低。这表明,中国近年来“高投资、高出口、低消费”的最终需求模式很可能整体上加剧了碳排放的增长。但值得指出的是,最近几年随着中国经济外部失衡的加剧和全球性金融危机导致的外需疲软促使中国政府开始致力于扩大内部需求,因此国内消费对中国碳排放的影响也将越来越重要。而图2所示的估计结果说明,如果各类最终需求碳排放强度的相对大小没有发生大的变动,则扩大国内消费需求相对于扩大投资和出口更有利于中国的碳减排。

其次,由于中国城乡二元经济结构和生活方式的差异使得城镇与农村居民在消费的碳排放影响上也表现出显著差异。如图1所示,1992年城乡居民消费碳排放大体相当,但之后城镇居民的排放量迅速增加并超过农村居民,而且差距逐渐拉大。农村居民消费碳排在1992~1997年有所增长之后又有较大幅度下降,2007年农村消费碳排放较1992年下降了13.6%左右。到2007年,城镇居民消费碳排放总量是农村居民的2.7倍左右。由此可见,城镇居民消费是中国居民消费碳排放的主要来源。

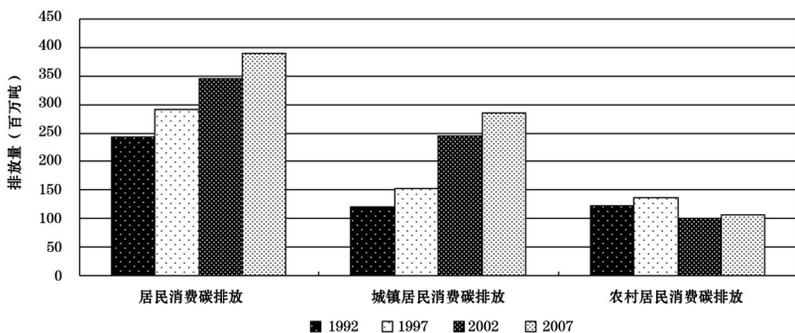


图1 1992~2007年中国居民消费碳排放量

表2 1992~2007年中国各类最终需求的碳排放比重 %

年份	居民消费	政府购买	投资(资本形成)	出口
1992	41.2	9.3	29.4	20.1
1997	40.4	6.7	34.2	18.7
2002	36.7	6.6	35.5	21.2
2007	29.9	5.8	35.8	28.5

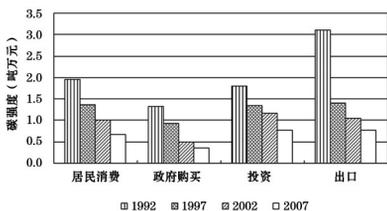


图2 各类最终需求的碳排放强度

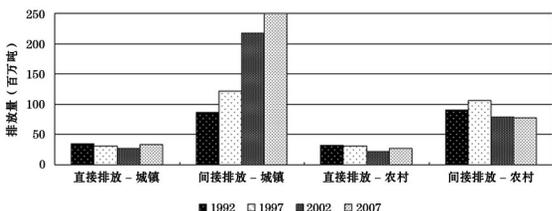


图3 城乡居民消费的直接碳排放与间接碳排放

最后,我们将居民消费引致的碳排放分解为直接和间接两部分,由图3我们可以看出,中国居民消费的间接碳排放是居民消费碳排放的主要部分,即居民消费碳排放主要来源于非化石能源产品与服务的消费所造成的间接排放(下文中表3进一步估算出了各主要部门来源情况)。1992~2007年,居民消费间接排放的比重在72%~86%,其中2007年为84%。可见,间接碳排放的变化实际上决定了消费碳排放的变化趋势,这一点无论是城镇居民还是农村居民的消费碳排放也都成立。虽然城乡居民消费的直接碳排放规模和变化趋势相似,但二者在间接碳排放量及变化趋势上迥异,表现为城镇居民的间接排放一直快速上升,而农村居民消费间接排在1992~1997年有所增加但之后又降低至1992年排放水平之下。城乡居民消费的间接碳排放的差距不断拉大,进而造成了二者消费碳排放总量上的显著差异。该结论与张友国(2012)的研究基本一致。

(二)中国居民消费间接碳排放的部门分布及其变化

从以上的估计结果我们发现,不管是城镇居民还是农村居民,消费的间接碳排放都是消费碳排放的主体,因此有必要进一步考察间接碳排放的部门来源情况。表3的估计结果显示了居民对各部门产品消费所造成的间接碳排放比重,可以发现间接碳排放部门分布的几个特点:一是居民消费的间接碳排放主要集中在农业、食品制造及烟草加工业、电力、热力生产和供应业以及服务业部门;二是从变动趋势看,1992~2007年间间接碳排放的主要部门来源从农业、食品制造及烟草加工业、化学工业向电力、热力生产和供应业与服务业部门转移。此外,对服装皮革羽绒及其制品业、交通运输设备制造等各部门产品消费产生的碳排放也有所上升。可见,消费的间接碳排放的部门分布特征及其变化与居民生活方式和消费模式的改变密切相关。随着居民收入的增加,消费者对农产品、加工食品的支出比重下降,而更多地消费皮革服装制品、汽车、电器、电力、热力以及各种服务,因此消费的间接碳排放主要来自这些部门。值得注意的是,虽然服务的碳排放强度比大部分制品低,但由于服务消费规模大及其后向产业关联

表 3 1992~2007 年中国居民消费间接碳排放的部门分布 %

部门	1992	1997	2002	2007
农业	17.69	17.36	11.51	7.02
煤炭开采和洗选业	1.54	0.39	0.62	0.31
食品制造及烟草加工业	17.16	17.25	9.83	13.05
纺织业	4.65	1.55	1.35	0.52
服装皮革羽绒及其制品业	2.70	4.19	3.02	4.94
木材加工及家具制造业	1.12	1.27	0.74	0.58
造纸印刷及文教用品制造业	1.90	0.95	0.91	0.52
石油加工、炼焦、煤气及核燃料加工业	0.82	0.67	0.78	1.47
化学工业	7.28	4.89	3.54	3.64
非金属矿物制品业	2.40	4.12	2.98	0.83
金属制品业	2.35	1.50	1.05	0.69
通用、专用设备制造业	1.35	0.15	0.13	0.07
交通运输设备制造业	0.58	1.91	1.21	2.46
电气机械及器材制造业	3.49	3.65	1.55	2.09
通信设备、计算机及其他电子设备制造业	1.45	1.07	0.96	0.76
电力、热力生产和供应业	11.36	15.11	19.45	26.38
其他工业部门	0.18	1.83	3.90	1.44
交通运输、仓储及邮政业	4.93	4.25	4.49	3.96
批发零售及住宿餐饮业	7.51	5.91	7.59	9.67
其他服务业	9.20	11.70	16.15	18.08

说明:1992、1997、2002 和 2007 年 4 个时间点碳排放占比均小于 1% 的部门未在表 3 列出。

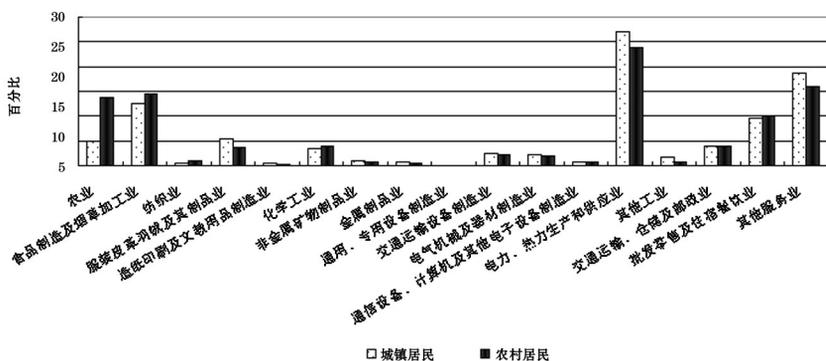


图 4 2007 年城乡居民消费间接碳排放的部门分布比较

说明:图中没有列出 4 个时间点的碳排放占比均小于 1% 的部门。

效应,服务消费也会对碳排放产生重要影响(Suh,2006)。因此,服务产品消费比重的上升并不意味着消费碳排放必然下降。如表3所示,中国居民服务消费产生的碳排放所占的比重呈较快增长趋势,2007年所有服务消费造成的间接碳排放的比重达到31.71%。

另外,城乡居民收入水平、消费结构等方面的差异也使城乡居民消费间接碳排放的部门分布不同。如图4所示,2007年农村居民对农业、食品制造及烟草加工业、化学工业和纺织业部门产品消费引致的碳排放高于城镇居民,而农村居民在其他大部分部门的消费碳排放要低于城镇居民,尤其是电力、热力生产和供应业部门以及其他服务业部门。

(三)中国居民消费碳排放变化的结构分解分析

1. 直接碳排放变化的结构分解。根据(4)式的结构分解模型,我们可以估计出居民部门能源消费结构变化和能源消费规模变化对消费的直接碳排放变化的影响效应。由表4可以看出,1992~2007年中国居民消费的直接碳排放降低了7.1%,这主要得益于能源消费结构的改善。能源消费结构的变化使消费直接碳排放在整个研究期内降低了40.53%,而能源消费规模导致了直接碳排放的增加,不过其影响被能源消费结构效应完全抵消,最终使直接碳排放小幅下降。但分阶段来看,能源消费规模的影响并非都是正的。实际上,能源消费量的大幅上升发生在2002~2007年,该时期能源消费的规模效应超过其结构效应,使直接碳排放上升了24.12%。此外,能源消费结构和能源消费规模变化对城镇与农村居民直接碳排放的影响基本一致,不同的是城镇居民能源消费的规模效应一直为正,而该因素降低了农村居民1997~2002年的直接碳排放。

1992~2007年,居民部门能源消费结构的变化之所以能够有效抑制消费直接碳排放的增长,是因为这种结构变化体现在较清洁的化石能源和电力、热力消费比重的上升。如图5所示,1992~2007年城镇居民的煤炭消费比重大幅下降,而油气产品以及电力、热力消费比重逐步提高。油气产品的碳排放系数比煤炭低,而电力、热力的使用不直接产生碳排放。而图6表明,农村居民的能源消费结构也表现为煤炭的大幅下降和电力消费的上升,但相比于城镇居民,农村居民的能源消费主要集中在煤炭和电力上,而油气产品的消费比重一直较低,并且农村居民煤炭消费占比仍然较大,到2007年,来自煤炭的能源比重还在50%左右,而城镇居民该比例已经降低至10%以下。这意味着中国农村居民能源消费结构进一步低碳化调整的空间还很大。

表 4 居民消费直接碳排放变化的结构分解 %

	时期	居民部门行为因素		合计
		能源消费结构效应	能源消费规模效应	
居民部门总体	1992 ~ 1997	-9.03	1.39	-7.64
	1997 ~ 2002	-14.14	-4.83	-18.96
	2002 ~ 2007	-18.26	42.38	24.12
	1992 ~ 2007	-40.53	33.42	-7.10
城镇居民	1992 ~ 1997	-13.37	1.30	-12.07
	1997 ~ 2002	-18.11	6.63	-11.48
	2002 ~ 2007	-21.08	46.45	25.37
	1992 ~ 2007	-53.40	50.98	-2.42
农村居民	1992 ~ 1997	-4.81	1.50	-3.31
	1997 ~ 2002	-10.59	-18.64	-29.22
	2002 ~ 2007	-10.42	36.38	25.96
	1992 ~ 2007	-24.76	10.97	-13.80

一般来说,电力、热力生产和供应业对煤炭的利用转化效率要高于居民部门,所以居民使用电力、热力,而减少煤炭直接使用有利于减少碳排放。但值得注意的是,电力、热力使用比重的上升并不意味着能源消费结构的真正低碳化。因为当前中国大部分电力、热力均来自煤炭燃烧转换,电力、热力的大量消费会在二次能源生产部门造成大量排放。因此,除非显著减少煤炭使用,增加石油、天然气等碳排放系数较低的化石能源的消费,尤其是提高水电、风电、核电、太阳能等低碳能源的消费比重,否则居民用电力、热力替代煤炭消费只是降低消费的直接碳排放,而增加了间接的碳排放,居民消费活动引致的碳排放总量未必能得到有效控制。

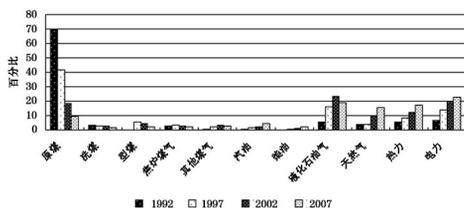


图 5 城镇居民的能源消费结构

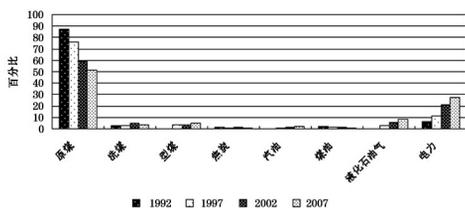


图 6 农村居民的能源消费结构

说明:图中没有列出4个时间点的消费比重均低于1%的能源产品。图6同。

2. 间接碳排放变化的结构分解。居民消费的间接碳排放主要来自于非化石能源产品与服务的生产过程,同时受到居民消费行为因素和生产部门生产行为因素的影响。根据(6)式对间接碳排放变化进行结构分解得到的结果如表5所示。我们发现,1992~2007年,产品消费规模的增长使间接碳排放上升了213.15%,并且无论是城镇居民还是农村居民,间接碳排放的大幅度增加都主要是由产品消费规模的快速增长引起的。这与朱勤等(2012)的结论类似。不过,本文进一步发现,产品消费规模对城镇居民间接碳排放的推动作用远大于对农村居民的影响。1992~2007年规模效应使城镇居民间接碳排放增长了383.94%,但仅造成农村居民的间接碳排放增长57.33%。张友国(2012)的因素分解发现,人均消费水平(规模)差异是导致城乡居民间接碳排放差异不断扩大的主要原因。本文则从消费规模对城乡居民间接碳排放增长的推动力差异上进一步支持了该结论。

表5 居民消费间接碳排放变化的结构分解 %

	时期	生产部门行为因素			居民部门行为因素		合计
		能源使用 结构效应	能源强 度效应	中间投入 结构效应	产品消费 结构效应	产品消费 规模效应	
居民部门总体	1992~1997	-2.42	-0.20	-9.81	4.11	44.32	36.01
	1997~2002	-5.48	-40.40	15.94	6.38	53.45	29.88
	2002~2007	-2.32	-55.73	17.31	6.65	54.20	20.11
	1992~2007	-13.39	-156.20	25.56	26.64	213.15	95.77
城镇居民	1992~1997	-2.64	-0.83	-14.10	8.40	57.85	48.68
	1997~2002	-6.54	-50.35	22.38	8.82	104.31	78.62
	2002~2007	-2.35	-57.88	16.55	-6.45	65.04	14.91
	1992~2007	-18.02	-234.49	34.52	39.18	383.94	205.14
农村居民	1992~1997	-2.20	0.40	-5.71	-0.71	32.10	23.88
	1997~2002	-4.27	-28.98	8.56	-1.35	-0.03	-26.07
	2002~2007	-2.21	-49.75	19.42	4.22	27.83	-0.50
	1992~2007	-8.96	-81.29	16.98	7.07	57.33	-8.87

产品消费结构的变化也使消费的间接碳排放在整个研究期内增加了26.64%。这意味着随着居民生活方式和消费模式的改变,消费篮子有“高碳化”趋势。正如表3所示,这主要是因为农产品、食品制造及烟草、纺织品等传统劳动密集型产品的消费比重明显下降且居民对二次能源产品电力、热力的支出比重大幅上升所致。此外,服务产品消费的比重也有明显增加,而服务提供往往也需要投入大量的碳密集型中间产品

(Suh, 2006; Alcántara 和 Padilla, 2009)。另外值得指出的是,对于居民部门总体,消费结构效应不管是分阶段还是在整个研究期内都提高了消费的间接排放。但对于城镇居民,在整个研究期内消费结构效应经历了先正后负,而总效应仍为正;相反,对于农村居民,消费结构的影响却经历了由负到正的变化。

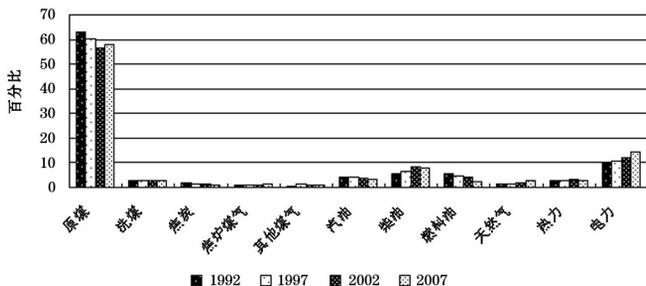


图7 1992~2007年生产部门的能源投入结构

说明:图中没有列出4个时间点的投入比重均低于1%的能源产品。

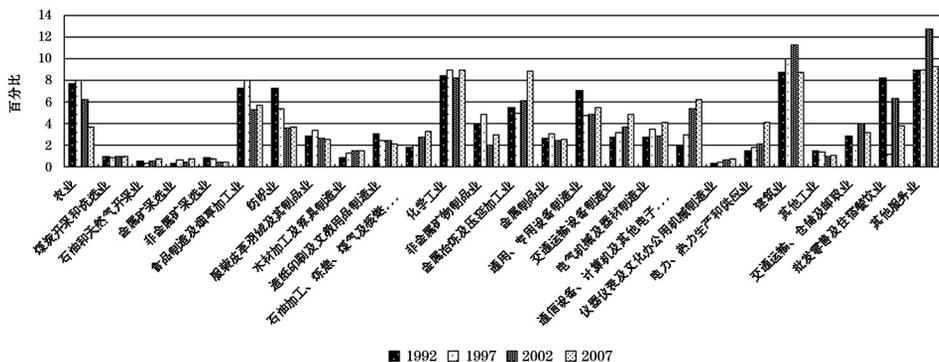


图8 1997~2007年生产部门的中间投入结构

从产品与服务的生产端来看,生产部门能源强度降低则是抑制消费间接碳排放的最重要因素。1992~2007年能源强度的降低使消费间接碳排放减少了156.2%,且从分阶段来看,能源强度对消费碳排放的抑制作用越来越显著。生产部门能源使用结构的变化也使间接碳排放降低了13.39%,如图7所示,1992~2007年生产部门能源使用结构的变化主要表现为:原煤、燃料油的比重有所下降,电力、柴油、天然气的投入比重有所上升。总的来看,由于主要能源仍为煤炭产品,因而研究期间能源结构变化对间接碳排放的影响比较有限。但这说明未来进一步优化生产部门能源投入结构,提高

低碳能源使用比重对于降低消费碳排放有较大潜力。此外,中间投入结构的变化使消费的间接碳排放在整个研究期内上升了 25.56%,其影响程度与产品消费结构效应相当,对于农村居民其推动作用还远大于产品消费结构变化的影响。如图 8 所示,1992~2007 年中间投入品中农产品、食品制造及烟草、纺织品等传统劳动密集型产品的比重明显下降,而来自石油加工、炼焦、金属冶炼、电力、热力、化学工业、重机械工业的投入比重都显著提高,这些部门大都是能源密集型部门。投入结构的上述变化使间接碳排放增加了 25.56%。但分阶段来看,1992~1997 年投入结构的变化是有利于减少间接碳排放的。

总体上来看,1992~2007 年生产部门能源强度的显著降低和能源结构的低碳化虽然有效抑制了消费的间接碳排放,但其影响最终被投入结构、消费结构和消费规模的正向影响所抵消,使得间接碳排放上升了 95.77%。不过,由于城乡居民产品消费规模和消费结构的差异,以上因素对城镇和农村居民消费间接碳排放的净效应正好相反。

四 结论及政策含义

本文基于(进口)非竞争型投入产出模型估算了 1992~2007 年中国居民消费的碳排放趋势及其部门分布,同时还比较了城乡居民消费碳排放影响的差异,并进一步通过结构分解分析了七大因素对居民消费碳排放变化的影响。通过经验分析,本文主要得到以下结论:

1. 本文的估计结果表明,1992~2007 年中国居民消费碳排放量呈现较快增长趋势,但居民消费的碳排放占中国碳排放总量的比重有明显下降趋势,而投资和出口造成的碳排放比重则有较大幅度的上升。本文认为,各类最终需求碳排放占比结构的变动与近年来中国以“投资驱动和出口拉动”为特征的经济增长模式密切相关;并且这种“高投资、高出口、低消费”的最终需求模式变化很可能整体上加剧了中国碳排放的增长。通过分离城镇和农村居民消费的碳排放影响后发现,中国居民消费碳排放绝大部分来自于城镇居民的消费活动,后者的变动决定了前者的发展趋势。相反,农村居民消费碳排放在研究期间有所下降。

2. 将居民消费引致的碳排放分解为直接和间接两部分后,我们发现,在整个研究期内,中国居民消费碳排放主要来自于非化石能源产品与服务的消费,这些产品的生产引致产业部门大量的间接碳排放。城镇和农村居民的直接排放量都呈下降趋势,但城镇居民消费的间接碳排放大幅上升,是造成其消费碳排放迅速增长的主要原因;相

反,农村居民的间接排放表现出先增后降的趋势,总体上消费碳排放有所减少。对间接排放的部门分析显示出几个重要的特征:一是间接碳排放的部门集中度高,主要集中在农业、食品制造及烟草加工业、电力、热力生产和供应业以及服务业等非化石能源产品部门;二是间接排放的主要部门来源由农业、食品制造及烟草加工业、化学工业逐步转向电力、热力生产和供应业以及服务业部门,电力、热力和服务的消费已经成为当前消费碳排放的主要部门来源。城乡比较显示,农村居民对农业、食品制造业、化学工业和纺织业部门产品消费引致的碳排放高于城镇居民,而城镇居民在其他部门的消费碳排放均高于农村居民,尤其是在电力、热力部门和服务部门。

3. 结构分解分析的结果表明,对于中国居民消费的直接碳排放,居民部门能源消费规模增长是直接碳排放增长的主要原因,能源消费结构的低碳化调整则有效抑制了直接碳排放的增长。对于消费的间接碳排放,消费者的行为因素倾向于提高间接碳排放,其中产品消费规模效应最为突出,而产品消费结构效应相对较小,并且值得注意的是,近年来产品消费结构呈现出“高碳化”趋势。相反,生产部门能源强度的降低则是抑制消费间接碳排放最重要的因素,并且研究期间抑制效应越来越显著,产业部门能源使用结构的变化也使消费间接碳排放有所减少,但其影响比较有限。而生产部门的中间投入结构的“高碳化”趋势却增加了消费的间接碳排放。总体上,产品消费的规模和结构变化效应以及生产投入结构效应对间接碳排放的促进作用,超过了生产部门能源强度和能源结构效应的抑制作用,最终推高消费的间接碳排放。城乡比较显示:城镇居民的产品消费规模和消费结构效应对推高间接碳排放起到非常重要的作用,并超过了生产部门的能源强度和能源结构效应的影响,所以消费的间接碳排放大幅增加,也导致消费碳排放总量的上升;而对于农村居民,这两个因素对间接碳排放的影响效应相对较小,总体上消费碳排放表现为下降趋势。

本文所进行的只是初步分析,但研究结果具有重要的政策含义。首先,随着中国刺激消费、扩大内需政策的实施和推进,居民消费必将在国民经济中发挥越来越重要的作用,未来居民消费所造成的碳排放很可能像发达国家一样成为中国碳排放的最主要部分。不过本文研究表明,近年来中国居民消费的平均碳排放强度明显低于投资和出口的平均碳排放强度。因此,当前扩大国内消费需求的政策不仅有利于中国经济结构的调整,同时也有利于碳减排。

其次,本文的分析结果也揭示了在中国消费规模继续扩大的情况下,协调居民消费增长与节能减排关系的政策路径需要从居民部门和生产部门同时着手。一方面要通过适当的财税政策和宣传教育手段引导绿色、低碳生活方式和可持续消费模式,刺

激能源产品和非能源产品与服务消费结构的低碳化调整;另一方面则要加大对节能和清洁生产技术的开发、引进与应用的政策支持,以通过技术进步提高能源效率,进一步降低生产部门的能源强度。不过归根结底,中国高排放的一个重要原因是以煤炭为主的能源结构,所以进一步优化能源结构,提高低碳能源使用比重,尤其是促进各种可再生能源的利用(包括生物质能、水电、太阳能、地热以及风能),逐步降低煤炭消耗是降低消费碳排放的有效途径。但从现实来看,中国在中短期内对煤炭的依赖度还不可能大幅度降低,因此,加快扶持发展先进煤炭技术,比如煤炭的气化、液化,碳捕获和封存等新技术,降低煤炭的排放系数,也是不可忽略的能源战略。此外,当前中间投入结构有“高碳化”趋势,所以提高企业生产效率,降低碳密集型投入品使用比重对于降低消费碳排放而言也具有较大潜力。

最后,本文研究结果还提示我们,由于城乡居民消费的碳排放及其影响因素存在较大差异,需要制定有针对性的节能减排措施,并且在节能减排过程中有必要考虑城乡居民的公平问题。由于中国的居民消费碳排放量及其增长主要来自于城镇居民消费活动,^①因此城镇居民应该承担比农村居民更多的减排责任。节能减排政策应该在保证农村居民“生存与发展排放”的前提下适当限制城镇居民一些“奢侈性排放”。

参考文献:

李小平(2010):《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》,《财贸经济》第5期。

刘启运、彭志龙(2010):《中国1992~2005年可比价投入产出序列表及分析》,北京:中国统计出版社。

彭水军、刘安平(2010):《中国对外贸易的环境影响效应:基于环境投入-产出模型的经验研究》,《世界经济》第5期。

张友国(2010):《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》,《经济学(季刊)》第4期。

张友国(2012):《农民消费的碳排放影响——基于与城市居民的差异比较分析》,载于《中国环境与发展评论(第五卷):中国农村生态环境安全》(张晓主编),北京:中国社会科学出版社。

朱勤、彭希哲、吴开亚(2012):《基于结构分解的居民消费品载能碳排放变动分析》,《数量经济技术经济研究》第1期。

Alcántara, V. and Padilla, E. “Input-output Subsystems and Pollution: An Application to the Service Sector and CO₂ Emissions in Spain.” *Ecological Economics*, 2009, 68, pp.905-914.

Bin, S. and Dowlatabadi, H. “Consumer Lifestyle Approach to U.S. Energy Use and the Related CO₂ Emis-

^① 张友国(2012)的研究也表明,对于人均碳排放影响,1987~2007年中国城镇居民人均排放量始终大于农村居民人均排放量,2002~2007年前者超过后者的3倍。

sions." *Energy Policy*, 2005, 33, pp.197-208.

Feng, Z. H.; Zou, L. L. and Wei, Y. M. "The Impact of Household Consumption on Energy Use and CO₂ Emissions in China." *Energy*, 2011, 36, pp.656-670.

Fujimigari, D. "The Sources of Change in the Canadian Industry Output." *Economic Systems Research*, 1989, 1, pp.87-202.

Guan, D.; Hubacek, K.; Weber, C. L.; Peters, G. P. and Reiner, D. M. "The Drivers of Chinese CO₂ Emissions from 1980 to 2030." *Global Environmental Change*, 2008, 18, pp.626-634.

Hoekstra, R. and van den Bergh, J. C. "Structural Decomposition Analysis of Physical Flows in the Economy." *Environmental and Resource Economics*, 2002, 23 (3), pp.357-378.

IPCC. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Reference Manual* (Vol.3), Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996. Available at <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6a.html>.

Jacobsen, H. K. "Energy Demand, Structural Change and Trade: A Decomposition Analysis of the Danish Manufacturing Industry." *Economics Systems Research*, 2000, 12 (3), pp.319-343.

Morioka, T. and Yoshida, N. "Comparison of Carbon Dioxide Emission Patterns due to Consumers' Expenditure in UK and Japan." *Journal of Global Environmental Engineering*, 1995, 1, pp.59-78.

Munksgaard, J.; Pedersen, K. A. and Wien, M. "Impact of Household Consumption on CO₂ Emissions." *Energy Economics*, 2000, 22, pp. 423-440.

Nijdam, D. S.; Wiltig, H. C.; Goedkoop, M. J. and Madsen, J. "Environmental Load from Dutch Private Consumption; How Much Damage Takes Place Abroad?" *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(1-2), pp.147-168.

Ouyang, J.; Long, E. and Hokao, K. "Rebound Effect in Chinese Household Energy Efficiency and Solution for Mitigating it." *Energy*, 2010, 35, pp.5269 - 5276.

Pan, J.; Phillips, J. and Chen, Y. "China's Balance of Emissions Embodied in Trade: Approaches to Measurement and Allocating International Responsibility." *Oxford Review of Economic Policy*, 2008, 24(2), pp.354-376.

Peters, G. P. and Hertwich, E. G. "The Importance of Imports for Household Environmental Impacts." *Journal of Industrial Ecology*, 2006, 10, 89-109.

Peters, G. P.; Weber, C. and Liu, J. R. "Construction of Chinese Energy and Emissions Inventory." Report 4/2006. In *Industrial Ecology Programme (IndEcol)*, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 2006. Available at : http://www.ntnu.no/c/document_library/get_file?uuid=c8a866b8-e804-433a-a662-3540ef443938&groupId=10370.

Shui, B. and Harriss, R. C. "The Role of CO₂ Embodiment in US - China Trade." *Energy Policy*, 2006, 34, pp. 4063-4068.

Su, B. and Ang, B. W. "Structural Decomposition Analysis Applied to Energy and Emissions: Some Methodological Developments." *Energy Economics*, 2012, 34, pp.177-188.

Suh, S. "Are Services Better for Climate Change?" *Environmental Science & Technology*, 2006, 40, pp. 6555-6560.

Weber, C. L.; Peters, G. P.; Guan, D. and Hubacek, K. "The Contribution of Chinese Exports to Climate Change." *Energy Policy*, 2008, 36(9), pp.3572-3577.

中国居民消费的碳排放趋势及其影响因素的经验分析

Wei, Y. M.; Liu, L. C.; Fan, Y. and Wu, G. "The Impact of Lifestyle on Energy Use and CO₂ Emission: An Empirical Analysis of China's Households." *Energy Policy*, 2007, 35 (1), pp.247-257.

Zha, D.; Zhou, D. and Zhou, P. "Driving Forces of Residential CO₂ Emissions in Urban and Rural China: An Index Decomposition Analysis." *Energy Policy*, 2010, 38, pp.3377-3383.

附表 1 投入产出表的 26 个部门划分

代码	部门名称	代码	部门名称
1	农林牧渔业	14	金属冶炼及压延加工业
2	煤炭开采和洗选业	15	金属制品业
3	石油和天然气开采业	16	通用、专用设备制造业
4	金属矿采选业	17	交通运输设备制造业
5	非金属矿采选业	18	电气机械及器材制造业
6	食品制造及烟草加工业	19	通信设备、计算机及其他电子设备制造业
7	纺织业	20	仪器仪表及文化办公用机械制造业
8	服装皮革羽绒及其制品业	21	电力、热力生产和供应业
9	木材加工及家具制造业	22	建筑业
10	造纸印刷及文教用品制造业	23	其他工业部门
11	石油加工、炼焦、煤气及核燃料加工业	24	交通运输、仓储及邮政业
12	化学工业	25	批发零售及住宿餐饮业
13	非金属矿物制品业	26	其他服务业

附表 2 17 种化石能源的热值、CO₂ 排放因子和氧化率 (MJ=10⁶焦, PJ=10¹⁵焦, MT=10⁶吨)

能源类型	净热值		CO ₂		能源类型	净热值		CO ₂	
			因子	氧化率				因子	氧化率
			MT/PJ					MT/PJ	
原煤	20 908	MJ/万吨	0.091	0.899	汽油	43 124	MJ/万吨	0.069	0.980
洗精煤	26 344	MJ/万吨	0.091	0.899	煤油	43 124	MJ/万吨	0.072	0.980
其他洗煤	15 393	MJ/万吨	0.091	0.899	柴油	42 652	MJ/万吨	0.074	0.980
型煤	17 796	MJ/万吨	0.091	0.899	燃料油	41 816	MJ/万吨	0.077	0.980
焦炭	28 435	MJ/亿立方米	0.108	0.970	液化石油气	50 179	MJ/万吨	0.063	0.990
焦炉煤气	16.308	MJ/亿立方米	0.074	0.990	炼厂干气	46 055	MJ/万吨	0.073	0.990
其他煤气	8.429	MJ/亿立方米	0.074	0.990	其他石油制品	41 816	MJ/万吨	0.074	0.980
其他焦化产品	28 435	MJ/万吨	0.095	0.970	天然气	38.931	MJ/亿立方米	0.056	0.990
原油	41 816	MJ/万吨	0.073	0.980					

资料来源:原煤、焦炉煤气、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油液化石油气、炼厂干气、其他石油制品的数据整理自 IPCC(1996),其他能源的数据来自挪威科技大学产业生态项目 2006 年年度研究报告,参见 Peters 等(2006)。

(截稿:2012 年 12 月 责任编辑:王徽)