

经济转型中的结构调整、能源强度降低与二氧化碳减排：

全国及上海的比较分析*

陈诗一 吴若沉

(复旦大学经济学院 200433)

内容摘要:二氧化碳减排是经济转型的助推器，但是不同地区和全国的二氧化碳排放变化并不相同。本文以上海市和全国为例，分解出它们背后的不同驱动因素，以为实现各自碳减排提供不同的政策建议。本文的基本结论：能源结构和产业结构演化和能源强度降低有利于减排二氧化碳，对上海而言更要特别注重第三产业中的交通运输业减排、大力发展九大高科技产业、切实进行国企改革、改变政府主导和投资驱动的增长模式等等。

关键词: 经济转型 碳减排 结构调整 能源强度降低

中图分类号:F127 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-1309(2011)4-0010-014

一、经济转型与二氧化碳减排

金融危机给各国带来了经济转型的良机，而节能减排无疑提供了经济转型的重要杠杆和有效推手。即使像美国，为了实现经济复苏和抢占新一轮世界经济增长的制高点，也把新能源和低碳技术作为催生经济转型的重点领域来投入，全力打造具有全新基础的经济增长“岩上之屋”。而中国为了贯彻落实科学发展观，加快转变经济发展方式，也于2009年第一次正式提出了二氧化碳强度减排的约束性指标，即到2020年我国单位GDP二氧化碳排放比2005年下降40%~45%，以期形成中国经济转型的倒逼之手和长效机制(陈诗一，2001b)。本文主要研究与中国经济转型息息相关的二氧化碳排放状况，并以上海市为例进行东中西部地区比较分析，以探讨影响未来二氧化碳减排的主要因素。

本文以终端能耗引致的二氧化碳排放作为研究对象。①改革开放以来，中国终端能耗二氧化碳排放从1995年的17亿吨上升到2007年的33亿吨，同期上海市碳排放则从3987万吨上升到10663万吨，其占全国碳排放的比例是逐年上升的(比如从1995年的2.4%上升到2007年的3.3%)。图1和图2分别绘制了全国和上海市由终端能源消费引致的二氧化碳排放的产业结构变化。①两张图显示的较大不同是，全国的碳排在“九五”期间和“十五”开端出现停顿甚至略有负增长，而上海市碳排放同期仍然增长较快；而相同的趋势则是2003年后全国和上海市的碳排放都出现飙升，使得中国于2007年跃过美国成为世界头号二氧化碳排放国(陈诗一，2010a；王锋等，2010)。二氧化碳排放产业构成的主要不同是，虽然工业都是头号排放源，且1995年时上海市工业碳排放占总排放的比例与全国结构水平相同，都在69%左右，但是其后全国工业碳排放比例基本维持不变，上海市工业发展却开始萎缩，导致工业碳排放比例持续下降，2007年时已经不足50%；上海市第三产业中的交通运输业碳排放占比一直比全国高(平均分别占26%和10%)，而且上升也更快，从1995年的15%一路上升到2007年的36%，部分体现出上海以航运中心为代表发展现代服务业的方向；而上海市的居民生活碳排放比例却小于全国(平均值分别为9%和14%)，而且占比都呈下降趋势。

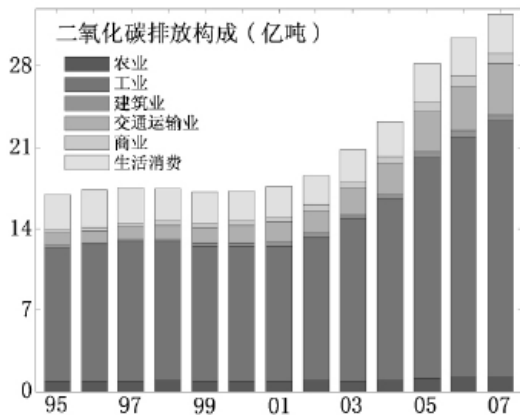


图1 中国二氧化碳排放产业构成

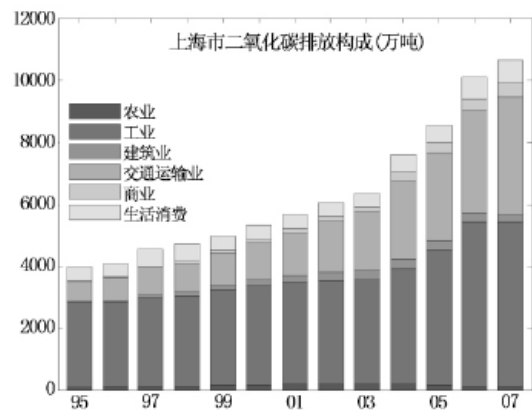


图2 上海市二氧化碳排放产业构成

图3和图4(见第12页)绘制了全国和上海市不同部门的二氧化碳强度变化趋势。总体上，上海市生产部门和生活部门的碳强度绝对值都低于全国对应值，显示出更高的碳生产力；而且上海市和全国生产部门的碳强度都在下降，只在2005、2006年左右有所回升后又继续下降，生活部门的碳强度略降后升，绝对水平远小于生产部门；从生产部门各行业来看，只有交通运输业的碳强度明显逆势而上，其他部门至多略有上升或波动中变化不大。这里上海市与全国明显不同的是，上海市交通运输业的碳强度比全国高很多，而且2001年后急剧上升(从1995年每万元GDP排放3.2吨CO₂一直到2007年的7.4吨CO₂)，该部门在未来碳减排时应予以特别重视；全国工业的碳强度下降很快，从1995年每万元GDP排放5.1吨CO₂下降到2007年的2.1吨二氧化碳，而上海工业的碳强度远小于全国工业(平均值分别在1.5和3.1吨二氧化碳/万元GDP)，显现较高的碳生产力，但是改善没有全国快^②；另外，上海市农业和建筑业的碳强度也高于全国平均水平。图5(见第12页)分地区^③生产部门碳强度显示，上海市生产部门的碳强度与东部地区平均水平相仿，不仅低于全国平均水平，也远远低于中部地区和西部地区；不过它们都显示先下降后反弹再下降的共同趋势，只是与图2对应，上海市碳强度在“九五”和“十五”前期下降最慢。

急剧增加的二氧化碳排放已经给全国以及上海市经济转型带来了极大的压力，给未来二氧化碳强度减排带来了极大的难度。本文将利用基于产业、省份、能源种类的三维LMDI分解法对全国二氧化碳排放的影响因素进行分解，并与基于产业和能源种类的二维LMDI分解的上海市二氧化碳排放影响因素进行比较，以便为未来有效减排二氧化碳提供有益的政策建议。目前对全国二氧化碳排放和强度进行分解分析的文献不少，可见Chen(2010)。下面对研究上海碳排放的文献进行简单综述。陈长红和王冰妍(2003)认为通过实施能源结构调整和产业结构升级政策，上海市可获得明显减缓二氧化碳排放增长速度的附加效应。钱杰和俞立中(2003)发现增加天然气和石油消耗比例、减少煤炭比例可以减轻上海市碳排放强度。郭茹等(2009)认为上海为了控制碳排放，要加快形成以服务业为主的产业结构，降低高耗能产业比例，大力发展清洁能源和可再生能源，积极加强绿地、湿地和耕地等碳汇建设。梁朝晖(2009)指出交通运输业为上海未来碳减排的重要部门。帅通和袁雯(2009)发现能源结构变动(煤类比重下降以及热和电上升)是上海万元GDP碳排放下降的主要原因。赵敏等(2009)指出能源结构调整和第三产业比重上升是上海市碳排放强度降低的重要影响因子。郭运功等(2010)也运用LMDI法对上海市物质生产部门终端能源利用导致的二氧化碳排放量进行了分解分析，发现上海市二氧化碳排放量不断增加，其中产业结构和能源效率因素起抑制作用，产业增加值起促进作用。本文将进行比现有文献方法更复杂、驱动因子也更丰富的三维LMDI分解，具体方法论介绍和数据见下一节。第三节和第四节则对全国和上海市的二氧化碳排放驱动因素分解结果进行分析，并重点讨论有利于碳减排的结构和强度因子。最后一节为结论性评注和政策含义讨论。

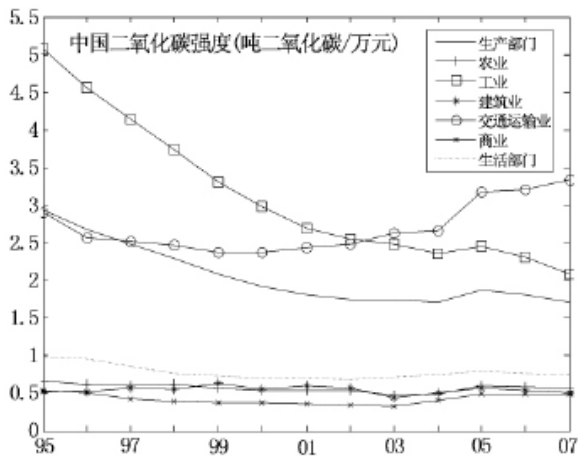


图 3 中国不同产业二氧化碳强度变化

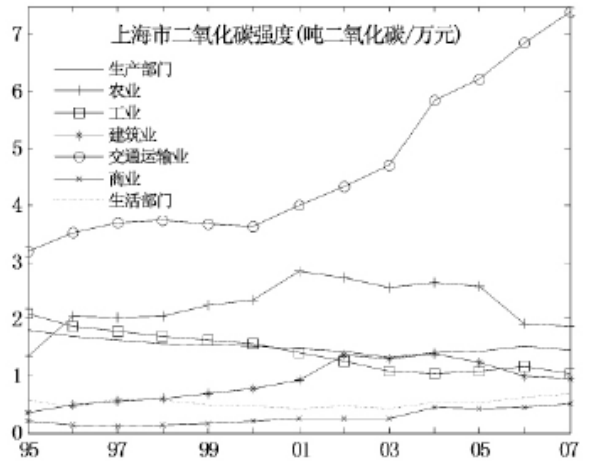


图 4 上海市不同产业二氧化碳强度变化

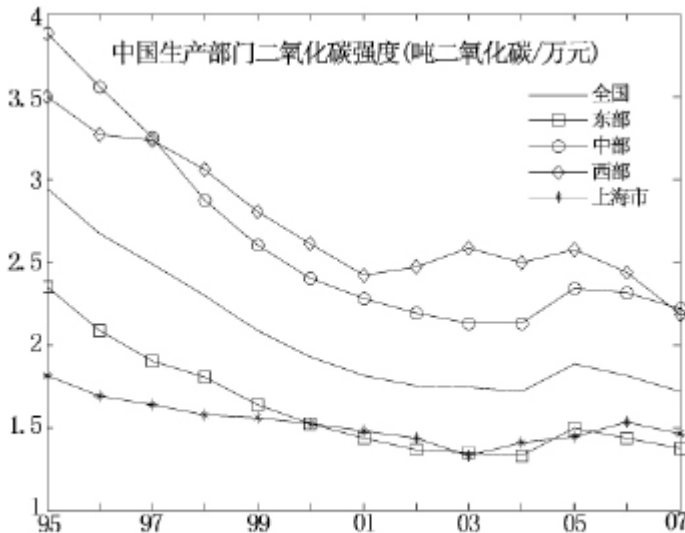


图 5 中国分地区二氧化碳强度变化

二、方法与数据

(一) 二氧化碳排放的三维 LMDI 分解

本文选择乘法形式的对数均值 Divisia 指数 (LMDI) 分解法对二氧化碳排放进行分解。本文将参照 Ang and Liu (2001) 和 Wu et al. (2005) 的研究从中国 30 个省市自治区 ($i=1, 2, \dots, 30$)、6 个产业部门 ($j=1, 2, \dots, 6$ 分别代表农业、工业、建筑业、交通运输业、商业以及居民消费)、3 种一次能源 ($k=1, 2, 3$, 代表煤炭、石油和天然气) 这三个维度来对全国二氧化碳排放进行 LMDI 分解。考虑到资本深化这一中国独特的转轨特征, 本研究将试图分解出该驱动因子并分析其对二氧化碳排放排放的影响, 这在现有文献中从来没有出现过。全国层面二氧化碳排放总量可分解为如下形式:

$$\begin{aligned}
 C &= \sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^3 C_{ijk} \\
 &= \sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^3 \frac{C_{ijk}}{E_{ijk}} \frac{E_{ijk}}{E_{ij}} \frac{E_{ij}}{Y_{ij}} \frac{Y_{ij}}{Y_i} \frac{Y_i}{K_i} K_i + \sum_{i=1}^{30} \sum_{j=6}^6 \sum_{k=1}^3 \frac{C_{ijk}}{E_{ijk}} \frac{E_{ijk}}{E_{ij}} \frac{E_{ij}}{TPI_{ij}} PI_{ij} PN_{ij}
 \end{aligned} \tag{1}$$

其中， C_{ijk} 代表第 i 个省第 j 个产业部门第 k 种能源终端消费产生的 CO_2 排放量， E_{ijk} 代表第 i 个省第 j 个产业部门第 k 种能源的终端消费量， E_{ij} 为第 i 个省第 j 个产业部门能源的终端消费量， Y_{ij} 表示第 i 个省第 j 个产业部门生产总值， Y_i 是第 i 个省国内生产总值， K_i 代表第 i 个省资本存量， TPI_{ij} 为第 i 个省居民总收入， PI_{ij} 是第 i 个省居民人均收入，而 PN_{ij} 为第 i 个省居民总人数。对公式(1)作如下替换： $CF_{ijk}=C_{ijk}/E_{ijk}$ 代表 CO_2 排放系数，即第 i 个省第 j 个产业部门第 k 种能源的单位终端能耗所产生的 CO_2 排放量； $ES_{ijk}=E_{ijk}/E_{ij}$ 代表能源结构，即第 i 个省第 j 个产业第 k 种能源消费占总能源消费的比例； $EIP_{ij}=E_{ij}/Y_{ij}$ 表示生产部门能源强度，即第 i 个省第 j 个产业 ($j=1, \dots, 5$) 单位产出所消耗的终端能源； $SP_{ij}=Y_{ij}/Y_i$ 为生产部门产业结构，即第 i 个省第 j 个产业 ($j=1, \dots, 5$) 的产出在该省总产出中所占比例； $ACP_i=Y_i/K_i$ 则是资本生产率，即第 i 个省单位资本存量的产出； K_i 为第 i 个省的资本存量； $EIR_{ij}=E_{ij}/TPI_{ij}$ 代表生活部门能源强度，即第 i 个省居民部门 ($j=6$) 单位收入的终端能耗； PI_{ij} 为第 i 个省的居民人均收入； PN_{ij} 为第 i 个省的居民总人数。则公式(1)可改写为：

$$C = \sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^3 CF_{ijk} ES_{ijk} EIP_{ij} SP_{ij} ACP_i K_i + \sum_{i=1}^{30} \sum_{j=6}^6 \sum_{k=1}^3 CF_{ijk} ES_{ijk} EIR_{ij} PI_{ij} PN_{ij} \tag{2}$$

由于 CF_{ijk} 在化石燃料碳排放计算中假定为常数，因此其对 CO_2 排放量的变化并无贡献，这样实际上可以分解出 8 个因子，即 ES_{ijk} 、 EIP_{ij} 、 SP_{ij} 、 ACP_i 、 K_i 、 EIR_{ij} 、 PI_{ij} 、 PN_{ij} 。定义如下一个对称的对数权重方程：

$$L(a, b) = \begin{cases} \frac{a - b}{\ln a - \ln b} & a \neq b \\ a & a = b \end{cases} \tag{3}$$

并且令 $W_{ijk} = \frac{L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^{t-1})}{L(C^t, C^{t-1})}$ ，则依据 LMDI 方法，公式(2)可以变换为如下表达式：

$$\begin{aligned}
 \frac{C^t}{C^{t-1}} = & \exp\left[\sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^3 W_{ijk} \ln\left(\frac{ES_{ijk}^t}{ES_{ijk}^{t-1}}\right)\right] \\
 & \times \exp\left[\sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^3 W_{ijk} \ln\left(\frac{EIP_{ij}^t}{EIP_{ij}^{t-1}}\right)\right] \times \exp\left[\sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^3 W_{ijk} \ln\left(\frac{SP_{ij}^t}{SP_{ij}^{t-1}}\right)\right] \\
 & \times \exp\left[\sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^3 W_{ijk} \ln\left(\frac{ACP_i^t}{ACP_i^{t-1}}\right)\right] \times \exp\left[\sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^3 W_{ijk} \ln\left(\frac{K_i^t}{K_i^{t-1}}\right)\right] \\
 & \times \exp\left[\sum_{i=1}^{30} \sum_{j=6}^3 \sum_{k=1}^3 W_{ijk} \ln\left(\frac{EIP_{ij}^t}{EIP_{ij}^{t-1}}\right)\right] \times \exp\left[\sum_{i=1}^{30} \sum_{j=6}^3 \sum_{k=1}^3 W_{ijk} \ln\left(\frac{PI_{ij}^t}{PI_{ij}^{t-1}}\right)\right] \\
 & \times \exp\left[\sum_{i=1}^{30} \sum_{j=6}^3 \sum_{k=1}^3 W_{ijk} \ln\left(\frac{PN_{ij}^t}{PN_{ij}^{t-1}}\right)\right]
 \end{aligned} \tag{4}$$

完全分解的证明过程略。公式(4)可以简化为：

$$I_{TOT} = I_{ES} I_{EIP} I_{SP} I_{ACP} I_K I_{EIR} I_{PI} I_{PN} \tag{5}$$

这 8 个因子指数又可以粗略分为三大类，即结构因素(能源结构指数 IES、生产部门产业结构指数 ISP)、强度因素(生产部门能源强度指数 IEIP、生活部门能源强度指数 IEIR、生产部门资本生产率指数 IACP、居民部门人均收入指数 IPI)、规模因素(生产部门资本存量指数 IK、居民部门总人口指数 IPN)。对上海市二氧化碳排放总量基于 6 个产业和 3 种能源种类的两维分解公式依此类推。

(二) 数据

本研究因素分解所涉及变量为 1995~2007 年中国 30 个省市自治区各个产业部门的的终端能源消费及其构成(煤炭、石油、天然气消费)、二氧化碳排放、生产总值以及各省资本存量、居民人均收入、居民总人数。其中生产总值、能源消费、人均收入、总人数等数据摘自《新中国 60 年统计资料汇编》、历年《中国能源统计年鉴》和《中国统计年鉴》，而二氧化碳排放和资本存量数据则须估算。其中，对各省资本存量的估算参照张军等(2004)的方法。所有价值量数据都平减为 1995 年为基年的实际数值。根据 2006 年联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)为联合国气候变化框架公约及京都协议书所制定的国家温室气体清单指南第二卷(能源)第六章提供的参考方法，二氧化碳排放总量的计算公式如下：

$$C = \sum_{k=1}^3 C_k = \sum_k E_k \times NCV_k \times CEF_k \times COF_k \times (44/12) \tag{6}$$

这里，NCV 为 2007 年《中国能源统计年鉴》附录 4 提供的中国 3 种一次能源的平均低位发热量。CEF 为 IPCC(2006)温室气体清单提供的碳排放系数。由于没有直接提供煤炭的排放系数，而我国原煤产量分煤类比重多年来变化不大，一直以烟煤为主，占 75%~80%，无烟煤占 20%左右，因此，本文根据 IPCC(2006)提供的烟煤和无烟煤碳排放系数的加权平均值来计算煤炭的碳排放系数。COF 是碳氧化因子(本文煤炭设定为 0.99，石油和天然气为 1)。44 和 12 分别为二氧化碳和碳的分子量。由于能源消耗单位的不统一(煤炭和石油为万吨，天然气为亿立方米)，必须换算成我国能源度量的统一热量单位标准煤，各种能源折算标准煤系数也由同期《中国能源统计年鉴》提供。本文最终所估算的中国煤炭、石油和天然气的二氧化碳排放系数为每万吨标准

煤分别排放 2.763、2.145 和 1.642 万吨二氧化碳。

三、二氧化碳排放变化的驱动因素总分解分析

图 6 和图 7(见第 15 页)分别绘制出全国和上海市二氧化碳排放逐年环比发展指数及其分解因子指数的分期平均变化。表 1 则报告了全国和上海市按五年规划划分的三个子时期以及整个样本期间碳排放指数及其 8 种因子指数的几何均值。可见,“九五”期间(1996~2000),全国的节能减排政策执行效果很好(见 2006 年 6 月 5 日国务院新闻办公室发布的《中国的环境保护(1996~2005)》白皮书),二氧化碳排放发展指数平均仅增加 0.24%,近乎为零增长,这与该期间政府为执行抓大放小的所有制改革关闭了大量高污染的小企业有关;而政府性公司主导经济发展的“上海模式”延缓了“九五”期间上海市的国企改革步伐,削弱了同期节能减排政策的效果,导致二氧化碳排放达到很高的 5.7 个百分点。“十五”期间(2001~2005)上海市和全国一样都经历了急剧的重化工业化,二氧化碳排放平均增长都高达 10%左右。为此,中国不得不在“十一五”期间加强节能减排力度,并首次制定量化的约束性指标,即 2010 年能源强度要比 2005 年降低 20%,我们看到,2006—2007 年全国碳排放已经开始下降到了 7.2%,但是上海市碳排放却依然高歌猛进,增长率高达 12%,这显然与上海市政府在“十五”期间为促增长确定的 6 大重点支柱产业(即石油精细化工、钢材、生物医药、电子信息、成套设备和汽车)大部分都为耗能排放大户有关,这种产业结构使得上海市的节能减排难度要大于全国平均水平。

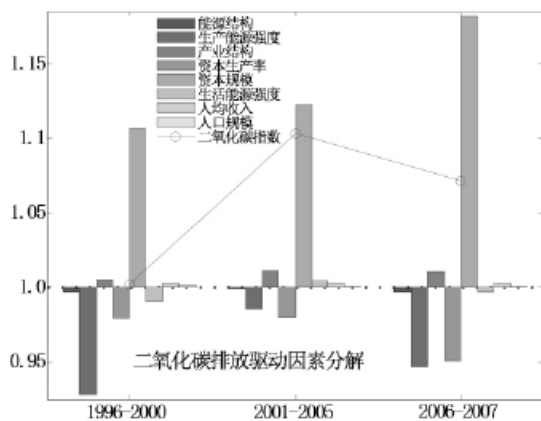


图 6 中国二氧化碳排放指数总分解

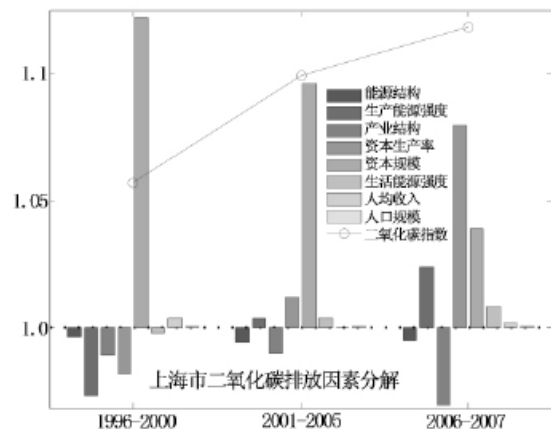


图 7 上海市二氧化碳排放指数总分解

由这两个图显然还可以发现,无论是全国还是上海市,二氧化碳排放指数的变化模式主要还是由生产部门的资本规模、能源强度、产业结构和资本生产率来依次解释。其中,由资本规模所代表的资

本深化主要对二氧化碳排放的增长负责,而能源强度、资本强度和产业结构的影响虽然不尽相同,但都在相应时期对全国和上海市的二氧化碳减排作出了重要贡献,下一节将对它们进一步分析;6 个产业部门加总的能源结构指数解释力弱之,但都是促进二氧化碳减排的,下一节将一并分析。居民部门 3 个因子的解释力比较弱,不是碳减排的重要考量,这既与全国和上海市居民生活碳排放比例低且逐年下降有关,也与发达国家碳减排的重点放在与居民生活息息相关的领域不同。由表 1 可知,就整个研究期间而言,中国和上海市二氧化碳排放平均增加了 5.5 和 8.5 个百分点。其中,全国生产部门的资本规模指数和产业结构指数以及居民部门的人均收入指数和人口规模指数作用为正(12.5%、0.85%、0.28%和 0.11%),其他 4 个因子指数影响为负,尤以生产部门的能源强度指数和资本生产率指数为最,平均引致碳排放下降幅度达-4.5 和-2.5 个百分点,而生活能源强度指数和能源结构指数只导致二氧化碳下降了-0.2%左右。就上海而言,正向影响因子多达 5 个,为生产部门的资本规模指数(9.7%)、资本生产率指数(1.02%)和居民部门的三个因子(0.04~0.18%),而能源结构指数和生产部门的能源强度指数、产业结构指数促进二氧化碳减排,减排率分别为-0.5%、-0.6%和-1.42%。下面首先就资本规模指数和居民部门的影响指

数进行解释。

表 1 中国和上海市二氧化碳排放环比发展指数驱动因素分解比较

	时期	二氧化碳排放指数	驱动因素分解							
			能源强度指数	生产部门				生活部门		
				能源强度指数	产业结构指数	资本生产率指数	资本规模指数	能源强度指数	人均收入指数	人口规模指数
中国	1996 ~ 2000	1.0024	0.9970	0.9283	1.0050	0.9790	1.1060	0.9911	1.0026	1.0015
	2001 ~ 2005	1.1034	0.9990	0.9855	1.0111	0.9802	1.1220	1.0043	1.0028	1.0008
	2006 ~ 2007	1.0715	0.9966	0.9466	1.0107	0.9503	1.1819	0.9969	1.0031	1.0008
	1996 ~ 2007	1.0550	0.9978	0.9548	1.0085	0.9746	1.1250	0.9976	1.0028	1.0011
上海市	1996 ~ 2000	1.0572	0.9960	0.9729	0.9887	0.9818	1.1224	0.9974	1.0037	1.0003
	2001 ~ 2005	1.0997	0.9940	1.0035	0.9898	1.0121	1.0963	1.0036	1.0000	1.0004
	2006 ~ 2007	1.1186	0.9948	1.0238	0.9691	1.0797	1.0388	1.0082	1.0017	1.0005
	1996 ~ 2007	1.0849	0.9950	0.9940	0.9858	1.0102	1.0972	1.0018	1.0018	1.0004

生产部门资本规模指数对二氧化碳排放有着最大的正向促进效应，这样高的影响水平说明了二氧化碳排放的急剧增加仍然与中国资本积累驱动型的粗放增长方式更紧密相关。张军(2002)把由资本规模代表的资本深化现象看作经济粗放增长的重要总量特征。Zhang(2003)指出，相对于劳动来说，中国固定资产投资增长过快。Qin and Song(2009)也发现计划经济伴随的资本过度投资(即所谓的投资饥渴)在当今中国仍然存在。而上海市的投资模式更有特色，可以看作曾取

得浦东开发辉煌的所谓“上海模式”的主要特征。与“温州模式”和“苏南模式”不同，“上海模式”主要由政府主导对城市各种资源进行配置来推动经济发展。数据显示，上海自1992年到2007年的15年间，共投资26000多亿元，其中，“八五”期间全社会投入3900亿元，“九五”期间9600亿元，“十五”期间13000亿元，分别占到全国1/11~1/25的不等比例，由政府主导的投资模式显然功不可没，这种投资驱动式的粗放增长模式在上海开发浦东、从单一工商业城市向经济中心城市转变过程中曾经发挥了重要作用。张军(2002)认为资本的形成速度最终必将受制于递减的边际报酬规律而使得要素驱动型的增长在长期不能维持。吴敬琏(2006)也指出，现代经济增长相对于早期经济增长已经不是靠资本积累，而靠效率提高来实现，这种现代的经济增长模式才能体现新型工业化道路的特征。因此，资本规模指数的影响模式隐含指出了改变资本驱动型的粗放增长为集约型、可持续增长模式才是二氧化碳减排的必由之路。事实上，资本深化对全国和上海市碳排放的影响虽然都很巨大但并不相同，全国资本深化对碳排放的影响仍在逐期增加，而上海市资本积累对碳排放的正向影响力在逐期下降。全国碳排放下降趋势中资本深化影响的继续增加以及上海市碳排放增加趋势中资本积累影响力与之相反的逐年降低也许说明了上海市经济增长方式的转变相对于全国情形已经初有起色。

再看居民部门，全国居民碳排放占总排放14%，在本文研究的6个部门中排名第二，仅次于工业部门，而上海居民碳排放占比为9%，排在工业和交通运输业之后(见图1和2)，因此对居民部门影响二氧化碳排放的因子值得关注，虽然它们的影响力要小于生产部门的因子。总体而言，居民部门中能源强度指数和人均收入指数对碳排放的影响要大于人口规模指数，后者接近于1，这是因为居民人口数规模通常变化很小，对碳排放影响也几乎不变，作为8个因子中影响力最小的因子是可以理解的。全国生活部门的能源强度指数促进碳排放下降-0.24个百分点，尤以“九五”期间促降效应最大，唯有“十五”期间促进碳排放增加，这与该期间全国由消费结构升级部分引致的重化工业化浪潮相关；而上海市生活能源强度对碳排放的促进作用由第2个时期还进一步延伸到2006~2007年，导致上海生活能源强度对碳排放的整体效应为正，这是因为上海市在2003年开始的重化工业化浪潮中由汽车工业特别是房地产的疯狂扩张导致的消费结构变化更为剧烈。人均收入指数对二氧化碳排放也起促进作用，这说明中国仍然处在环境库兹涅茨曲线的上升阶段，经济发展水平的提高要以污染排放为代价，何时能够达到中国碳排放的拐点与中

国所处的经济发展阶段以及未来的二氧化碳减排政策息息相关。

四、再论促进二氧化碳减排的结构和强度因素

(一) 能源结构与产业结构的调整效应

能源结构指数是唯一一个包含了生产和生活所有 6 个产业部门影响的因子，而且无论对于全国还是上海市而言，在三个子时期和整个研究期间都对二氧化碳排放起着—个促降的作用，且上海市能源结构减排效应比全国平均值稍大(分别为-0.5%和-0.22%)，尽管绝对影响还较低。由图 8 和图 9(见第 17 页)绘制的中国和上海市能源消费种类构成可见，全国而言，煤炭是绝对的主要能源资源，平均占比达到 64%左右;但是，煤炭消费比重已经由 1995 年的 73%逐年下降到 2007 年的 57%，而石油和天然气消费占比都在上升，由于煤炭的碳排放系数比石油和天然气更高，因此全国层面这种能源结构的变化趋势有利于二氧化碳减排。而上海的能源结构则完全不同于全国情形，石油消费平均比重高达 68%，煤炭平均只占 30%;而且石油消费占比已从 1995 年的 57%上升到 2007 年的 81%，煤炭占比则从 1995 年的 43%下降到 2007 年的 15%，上海市的这种能源结构及其变化不仅赋予其减排 CO₂ 的作用，而且减排效应高于全国平均水平。

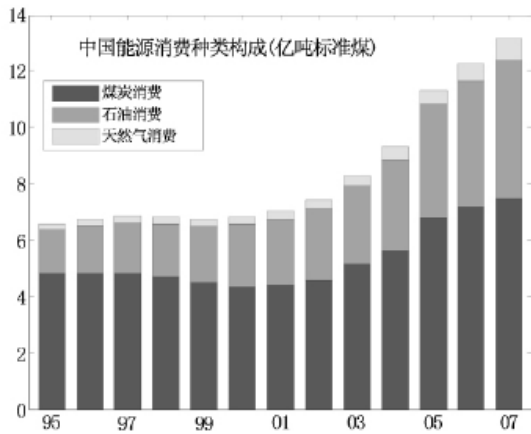


图 8 中国能源消费种类构成

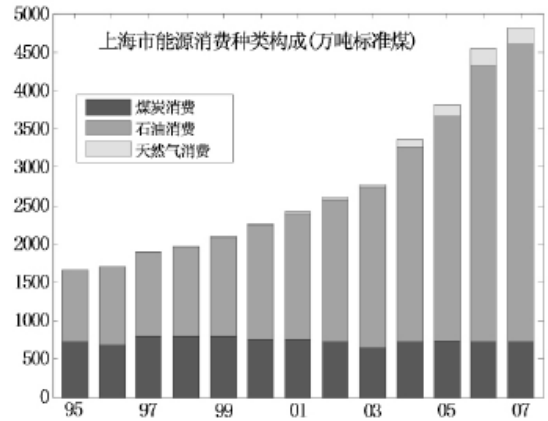


图 9 上海市能源消费种类构成

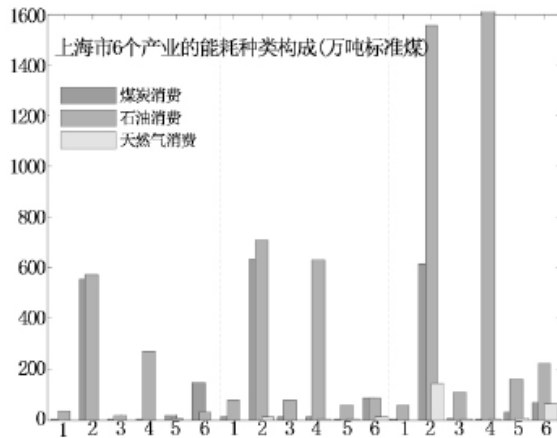


图 10 上海市 6 个行业能耗的种类构成

图 10 则显示,上海市 6 个产业部门中农业、建筑业和商业的能耗比较少,用能大户是工业、交通运输业和生活消费,它们的增长巨大,这和全国情形一样。而且工业和居民部门的煤炭比例也和全国一样都在下降,比如,最大能耗源的工业部门中煤炭占比从 1995 年的 49%下降到 2001 年的 47%和 2007 年的 27%左右,生活消费中的煤炭占比降幅更大,从 1995 年的 82%下降到 2001 年和 2007 年的 47%和 19%,与之相对应的,2007 年工业和居民部门石油消费的比例已经增加到了 67%和 63%(全国对应值则对 21%和 32%)。

与全国情形最不同的是新兴的能耗部门即交通运输业,它的能源消费由石油及其制成品构成的比例更高,而且基本保持在 99%左右,因此该部门煤炭和天然气消费的比例也极低且几无变化(相反,全国交通运输业中煤炭和石油的消费比例还有一个明显的减增),这些都说明了图 9 显示的上海能源消费中石油比例为什么那么高^①。总体上这种由石油和煤炭消费比例增减所刻化的能源结构变化是有利于二氧化碳减排的,但是目前绝对影响还比较小,随着清洁能源和可再生能源消费比例的不断增加,能源结构优化必将对二氧化碳减排发挥越来越大的作用。

同样作为结构要素,生产部门产业结构指数对二氧化碳排放变化的影响要更大;不同的是,全国和上海市能源结构指数都是促进碳减排的,而全国生产部门产业结构指数在整个阶段却是促进碳排放增加,只有上海市的产业结构演变是有利于二氧化碳减排的。图 6 和图 7 以及表 1 具体揭示了“九五”期间产业结构指数促进全国碳排放增加 0.5%,促进上海市碳减排-1.1%;“十五”期间产业结构指数促进全国碳排放增加到 1.1 个百分点,促进上海市碳减排-1%;2006~2007 年全国产业结构的碳排放效应回落到 1 个百分点左右,而产业结构变化对上海市碳减排的影响达到了-3%;整个研究期间生产部门产业结构指数对全国和上海市碳排放的影响分别为 0.85%和-1.4%。生产部门产业结构指数对全国和上海市二氧化碳排放的不同影响模式显然与各自的不同产业结构演化情形相关。图 11 和图 12(见第 18 页)分别绘制出中国和上海市三次产业的产出结构演化图。从全国而言,第一产业产出比重持续下降,这与产业结构调整的国际经验相似;第三产业 GDP 比重先上升,但是从本世纪以来又出现了略微下降,这与服务业比重应该持续增加的标准模式不同,这主要归因于中国第二产业 GDP 比重的持续增加(从 1995 年的 55%一直增加到 2007 年的 69%),这与发达国家产业结构调整中第二产业的驼峰模式不同,说明全国层面而言,产业结构调整仍然处在中前期阶段,产业升级任重道远。由于第二产业包含了最大碳排放源的工业部门,因此产业结构指数对中国二氧化碳排放的正向促进作用也就不难理解了。上海市的情形就不同了,第一产业 GDP 比重只有 1~2 个百分点,远小于全国平均 19%的比重,其变化对碳排放影响不大;但是,上海市第三产业发展迅猛,其比重从 1999 年开始就超过了第二产业,而且占上海市 GDP 的一半以上。由图 10 上海市各行业的能源消费种类构成已经知道,以交通运输业为代表的上海市第三产业的能源消费绝大部分由比煤炭更洁净的石油组成,因此,上海市产业结构演化是有利于二氧化碳减排的,这不同于全国平均情形。当然,上海市第三产业的发展还没有强劲到甩开第二产业,它们的比重相差不大,2003~2006 年第三产业比重甚至回落到 50%左右,直到最近两年才稍微拉开差距(2008 年三二产比重分别为 54%和 46%,历年差距最大),因此,第 3 阶段产业结构对上海市碳减排的影响在所有因子中也是最大的,达到-3%。

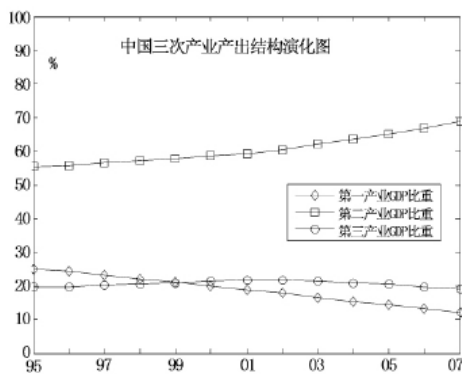


图 11 中国三次产业结构演化

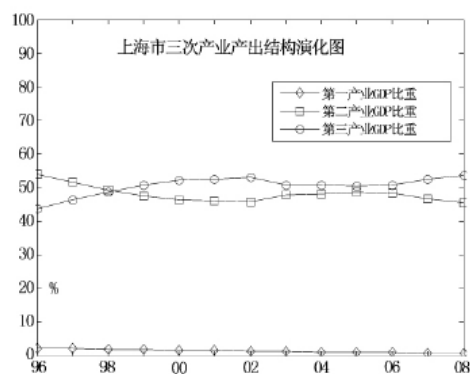


图 12 上海市三次产业结构演化

能源结构和产业结构都是经济结构的重要组成部分，而经济结构调整是经济可持续增长的重要源泉，也是当今各国转变经济发展方式的根本途径，Timmer and Szirmai (2000) 曾经把结构调整对经济增长的正向影响称为结构红利假说。整体而言，目前阶段产业结构调整对碳排放的影响要大于能源结构变化，其中能源结构演化是有利于碳减排的，而产业结构只有如上海市那样合理变化才能促进碳减排。如表 1 所示，能源结构和产业结构指数是后两个子时期仅有的两个促进上海市二氧化碳减排的因子，所以说，优化经济结构是中国未来成功减排二氧化碳、实现经济转型的必由之路。

(二) 能源强度和资本强度的降低效应

正如吴敬琏(2006)指出的，现代经济增长必须靠效率提高来实现，这包括了能源的使用效率和资本生产率，也称为单要素生产率，这一小节将通过能源强度和资本强度来进行说明，因为能源效率和资本生产率分别为能源强度和资本强度的倒数。许多研究发现，二氧化碳排放的实质是能源消耗，碳减排根本上取决于能源强度的降低或者能源生产率的提高，节能减排密不可分。图 6 和图 7 以及表 1 显示，全国层面而言，生产部门能源强度的下降对全国二氧化碳起着最大的减排效应(除了第 2 个子时期减排效应仅次于资本生产率之外)，有效地克服了资本深化所带来的碳排放急剧增加;而上海市不同于全国情形，仅在第 1 个时期由于能源强度的较大下降促进二氧化碳减排，后两个时期则由于上海市的能耗强度停止下降甚或转而上升开始促进二氧化碳排放的增加，当然整个时期来说上海市的能源强度指数还是促进碳减排的(平均-0.6%)。

具体而言，“九五”期间，全国层面能源强度对碳排放促降作用最大(-7.2%)，正如前述，这是一个全国节能减排成效最佳的时期，伴随着抓大放小的国企改革，中国政府第一次取缔关停了近 10 万家能耗和污染密集型小企业，直接导致能源消费总量和图 1 显示的二氧化碳排放总量一改此前的上升趋势转而在该期间下降或停顿;这一时期尽管上海市的国企改革和节能减排成效不如全国(比如图 2 显示同期上海市碳排放仍处于逐年上升之中)，但这仍然是能源强度对上海市碳排放唯一促进减排的时期(-2.7%)，这一时期也是上海市生产部门能源强度下降幅度最大的时期，从 1995 年每万元 GDP 消耗 0.76 吨标准煤下降到 2000 年消耗 0.65 吨标准煤。“十五”期间，快速城市化和再次重化工业化极大地拉动了高能耗行业的急剧膨胀，导致了能耗和碳排放的急剧增加(见图 1)，全国能源强度指数在这一阶段下降最少，只有-0.4%(见图 13)，2003~2005 年中国能源消费弹性系数是仅有的数值超过 1 的三年，因此，该时期能源强度对全国碳排放的促降作用最小(只有-1.45%);而从第二阶段开始，上海市能源强度指数转而开始促进二氧化碳排放增加了，这是与全国完全不同的模式，究其原因是上海市在“十五”期间确定的 6 大重点支柱产业个个都是耗能大户，上海市的重化工业化高潮更甚于全国，上海汽车、宝钢、金山石化、上海电气和众多大船厂等带动了上海经济的突飞猛进发展，直接导致了上海市的能源强度在达到 2003 年最低的 0.58 吨标准煤/万元后逆势转而逐年上升到 2006 年的 0.69 吨标准煤/万元。①“十一五”期间，全国层面及时制定了在 2005 年基础上降低能源强度 20% 的约束性指标，导致 2006~2007 年全国能源强度对碳减排的作用又开始增大到-5.3%;但上海市由六大支柱产业形成的产业结构使得其降低能源强度极为艰难，虽然 2007 年上海在全面排查基础上把“两高一低”企业都关闭了，导致能源强度下降到 0.66 吨标准煤/万元，但是很难关闭占全市工业总产值 60% 以上的这六大产业，因此，2006~2007 年上海市能源强度指数对碳排放的促进作用进一步增加到 2.38%。虽然，2009 年上海市政府出台了《关于加快推进上海市高新技术产业化实施意见》，明确了发展新能源、民航制造、先进装备、生物医药、电子信息制造、新能源汽车、海洋工程装备、新材料、软件和信息服务等九大高科技产业的制造业战略，以取代 2005 年确立的六大支柱产业定位，但其成效还有待观望，这超出了本文的研究期间。②

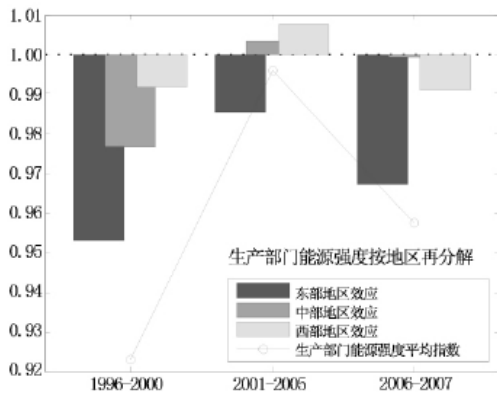


图 13 基于地区层次生产部门能源强度再分解

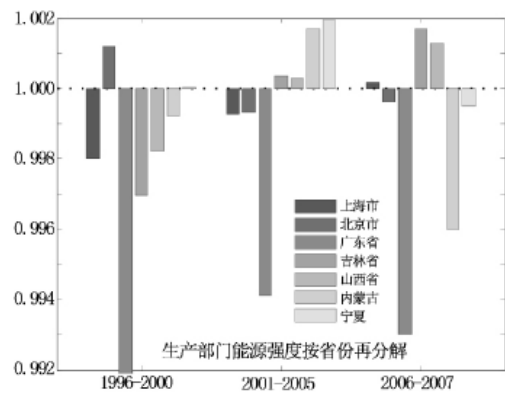


图 14 基于省级水平生产部门能源强度再分解(部分)

图 13 和图 14 对生产部门能源强度指数分别根据不同地区和省份进行了进一步的分解。图 13 揭示，能源强度环比发展指数本身在第 1 期下降最大(-7.7%)，第 2 期下降最小(-0.42%)，第 3 期下降又有所增加(-4.2%)。其中，东部地区对生产部门能源强度变化影响最大，3 个时期分别促成能源强度下降-4.7%、-1.5%和-3.3%；东中西部地区的变化模式都和生产部门能源强度平均指数相似，特别是“十五”期间，全国能源强度降低幅度减少与中部和西部地区带来的能源强度增加相关，这极大消减了东部地区带来的能源强度降低。图 14 提供的几个省的例子表明，广东省遵循与东部地区相似的能源强度贡献模式，但是上海市在第 3 个时期能源强度贡献增加，北京市在“九五”期间能源强度影响也是正向的；后面 4 个省与中西部地区贡献模式也大体相似，只是吉林省和山西省在最后 1 个时期仍在促进能源强度增加，倒是内蒙古在该时期降低能源强度较多。无论如何，就整个研究期间而言，全国和上海市的能源强度总体上在下降，虽然其中某些年份有所上升，这说明了能源生产率在持续改善之中，这是有利于二氧化碳减排的。不少文献发现技术进步、能源价格改革、R&D 支出、所有制改革等可以解释能源生产率的这种提高(Garbaccio et al., 1999; Fisher-Vanden et al., 2004, 2006; 王锋等, 2010)。然而，中国和上海市的能源强度虽然有所下降，但是绝对值相对于其他经济体还是太高，未来仍有很大下降空间。对上海市而言，由于本地几乎不出产一次能源，经济发展所需能源基本都是从省外调入或从国外进口，能源需求外向依存度高达 90%以上，属于典型的外源型能耗大都市，因此，提高能源使用效率尤为迫切。

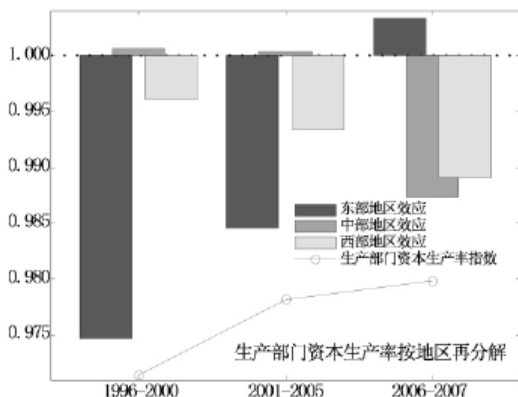


图 15 基于地区层次生产部门资本生产率再分解

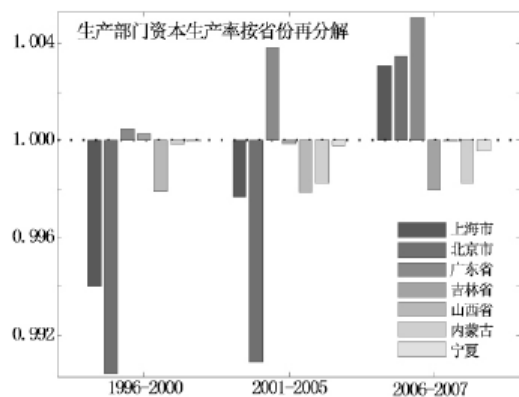


图 16 基于省级水平生产部门资本生产率再分解(部分)

前面图表显示，生产部门的资本生产率指数对全国和上海市二氧化碳排放的影响也是不同的。对于全国而言，虽然资本生

产率指数在下降,但是这种下降的幅度在减少,资本的使用效率在不断改善之中,因此,生产部门资本生产率指数每期都对全国碳减排起着促进作用(分别为-2.1%、-2%和-5%),在整个研究期间减排作用平均达-2.5%。图15和图16对于全国资本生产率指数基于不同地区和省份进行了再分解。地区分解显示,全国层面生产部门资本生产率指数的这种变化模式主要由东部地区引起,它们遵循相似的变化模式,东部地区在第3期对资本生产率的正向贡献(0.33%)更是这种投资效率改善的主因;而中西部地区对资本生产率提高存在着负面影响且这种负面影响还在增加,特别是中部地区,在前2个时期对资本生产率指数的贡献还微弱为正,但是2006~2007年对资本生产率的负面贡献竟然达到了-1.3%,高于西部地区的-1.1%。省份分解显示,同东部地区平均模式一样,上海市和北京市虽在前两个时期对全国资本生产率的贡献为负且数值较大,但在2006~2007年对资本生产率贡献都转而为正,而广东省在整个研究期间一直在促进资本生产率增加且力度逐期增强;后4个省则显示与中西部地区相似的模式,即随时间推移在降低资本生产率。分地区和分省分解说明未来全国进一步提高资本生产率主要从中部和西部地区入手,东部地区最近几年对全国资本生产率的贡献还是正向的,尽管每个省份的情况并不完全一样。

但是图7和表1显示的上海市生产部门资本生产率指数对上海市二氧化碳排放的影响模式却与全国有很大不同。“九五”期间上海市资本生产率还同全国一样促进碳减排,平均作用为-1.8%,但是“十五”期间资本生产率指数对上海市二氧化碳排放转而促进其增加,平均作用达1.21%,2006~2007年这种促增作用更高达7.97%,竟然超过了资本规模指数(3.88%)而位居第一,导致整个研究期间生产部门资本生产率指数对上海市二氧化碳排放的影响是正向的(1.02%)。对这种现象的解释也离不开由政府主导的投资驱动型“上海增长模式”,这种模式虽然在上个世纪90年代开始的上海浦东新区开发中取得了辉煌成绩,但是政府主导之下的经济弊端也是明显的,经济主体仍以国企为主,所有制改革严重滞后,经济手段以行政性为主,投资效率不高,极大地抑制了市场化力量的发展。上海社科院2005年发布的《上海市经济增长方式转变》研究报告就指出,从上世纪90年代开始,上海市由政府主导的总体经济投资的边际效应事实上呈现出持续下降的趋势,投资效率在不断恶化。这样的增长模式和发展思路也直接导致了上海市政府在“十五”期间为保增长确定的六大支柱产业政府主导色彩浓厚,虽然它们是上海市GDP高速增长的强力推动器,产出了上海市一半以上的工业总产值,可是也消耗了更大比例的能耗、释放出更多的二氧化碳,由此就不难理解资本生产率指数对上海市碳排放的促进作用了,碳减排的这种压力也说明了上海经济发展模式的转变是必然的,而且更为迫切。

五、结论与政策评价

中国二氧化碳排在“九五”期间经历了一个停顿甚或减少的时期,而同期上海市的二氧化碳排放与众不同,仍然保持了5.7%的较高增长;“十五”期间全国和上海市皆保持了10%左右的碳排放高增长;2006~2007年全国的碳排放增长下降到7%,但是上海市碳排放增长进一步增加到12%。本文利用LMDI分解法对全国和上海市1995~2007年期间这种由终端能耗引致的碳排放的不同变化模式分别进行了三维和二维驱动因素分解的比较分析,得到以下一些基本结论和相应的政策建议。

首先,无论对全国还是上海市而言,影响二氧化碳排放变化的主要因子都在生产部门,这与发达国家碳减排重点在居民部门不同。在生产部门中,由资本规模所代表的资本深化又是全国和上海市二氧化碳排放增加的主要责任者,因此,不改变这种资本积累驱动的粗放式增长方式,二氧化碳减排难以取得实效。不同于全国情形的逐期增加,资本深化对上海市碳排放的影响在逐期减少,资本要素驱动力的降低也许意味着上海市的经济发展方式转变已经取得初步成效。

除少数例外,单要素生产率提高和结构调整主要促进二氧化碳减排,其中,前者可以看作直接减排,即通过提高能源和资本的使用效率来进行减排,后者则属于间接减排,本文研究结果显示直接减排效应要大于间接减排。先看能源结构调整效应,在全国层面和上海市它都是促进碳减排的。上海市的煤炭和石油消费比例平均为30%和68%,要优于全国的能源消费结构(对应比例为64%和32%),但与世界发达国家相比,上海市天然气消费比例明显偏低,只有2%(上海市发展和改革委员会,2006)。因此,未来提高电厂燃煤效率、控制煤炭消费增长、降低煤炭消费比重仍是碳减排的重要内容,尤其对全国而言。^①上海市则要扩大天然气来源,抓紧开拓天然气市场,重点发展天然气发电、城市燃气和工业用气,力争尽快实现天然气消费量在一次能源结构中的比重达到10%以上。

再看产业结构调整,它对碳排放的影响要大于能源结构调整。全国层面产业结构的正向效应要求实行第二产业尤其是工业的驼峰型发展,大力发展现代服务业。而上海市产业结构演化的碳减排效应从节能减排的角度肯定了上海市二三产业“双轮”驱动协调发展但是第三产业更快发展的战略。上海市产业结构调整的方向无疑是国务院确立的以金融和航运为主导的服务业方向,但服务业的活力之源在于中小企业的市场竞争环境,不能再以政府垄断要素的方式进行,而且制造业的发展是服务业的一个重要组成部分。江泽民(2008)已经指出,以计算机互联网为代表的信息技术产业是科技创新的前沿领域和可持续发展的重要促进力量,引发了全球第三次工业革命,也已经成为新时期中国经济增长的重要引擎,未来中国应当进一步发挥信息技术产业经济增长倍增器、发展方式转换器和产业升级助推器的作用,以信息化带动工业化,有力促进经济的可持续发展。吴敬琏(2006)也指出,现代经济增长要靠效率提高来实现,而效率提高的源泉之一就是制造业和服务业的一体化以及信息化。为此,2008年上海市出台了《关于加快促进上海非公经济发展的若干意见》,以改变上海市制造业“国强民弱”的格局,2009年上海市确立了九大高科技产业作为发展先进制造业的核心,这与同年开始的新一轮上海国企改革步调一致,未来几年将是上海市实现新产业革命的重要阶段。

能源强度降低是驱动全国二氧化碳排放下降的最重要因素,对于上海市而言其减排作用也仅次于产业结构调整;资本生产率的改善也对全国二氧化碳减排起着重要作用,但是政府主导型投资效率的恶化却增加了上海市的二氧化碳排放,因此未来碳减排必须在切实提高能源生产率和资本生产率上花功夫。正如前述,虽然我国和上海市的能源强度一直在下降,但是还是远高于发达经济体,降低空间很大。笔者研究发现,2004年中国能源强度为每万美元GDP(2000年价格)消耗9.9万吨标准油,这个数值远高于美国、德国、日本、香港的2.3、1.9、1.1和1.4万吨标准油,即使比印度的6.5万吨标准油也要高。唐忆文等(2005)数据显示,2003年上海每万元GDP能耗为1.07吨标准煤,是2000年世界平均水平的2.4倍、德国的4.9倍、日本的6.7倍和韩国的2倍。地区分解指出,未来进一步降低能源强度要继续发挥东部地区的促降主导作用。而后两个时期上海市能源强度对碳排放的促进作用进一步凸显出发展九大高科技产业以替代传统六大支柱产业的必要性。从产业结构角度看,降低能源强度应该主要从工业和交通运输业部门入手,对于上海市而言更要侧重交通运输业节能,因为相对于全国水平,上海市交通运输业的能源强度要远高于其工业部门。

全国层面来看,资本生产率在下降,但是下降幅度在降低,资本使用效率的改善有利于二氧化碳减排,其中东部地区(包括上海市、北京市、广东省等)近年来对资本生产率的贡献为正,未来应该主要通过提高中西部地区的资本生产率来改善资本配置效率,以推动全国二氧化碳减排。就上海市而言,后两个时期资本生产率对二氧化碳排放由促减到促增的变化以及整个期间最终的碳排放促进作用说明了由政府主导的投资效率的持续恶化和与之相关所确定的六大高能耗支柱产业的过时,这意味着改革政府投资驱动型的旧有“上海增长模式”、尽早实现上海经济的根本转型势在必行且更具迫切性。

参考文献:

1. 陈长红、王冰妍. 中国能源政策的大气污染物减排效果与附加效应—上海案例研究. 上海环境科学, 2003(10).
2. 陈诗一、张军. 中国地方政府财政支出效率研究:1978~2005. 中国社会科学, 2008(4).
3. 陈诗一. 节能减排与中国工业的双赢发展:2009~2049. 经济研究, 2010(3).
4. 陈诗一. “低碳转型”会导致经济减速吗?. 解放日报, 2010年7月26日.
5. 郭茹、曹晓静、李严宽、李凤亭. 上海市应对气候变化的碳减排研究. 同济大学学报(自然科学版). 2009(4).
6. 郭运功、赵艳博、林逢春、白义琴. 终端能源利用的碳排放变化特征研究—以上海市物质生产部门为例. 环境科学与技术, 2010(6).

7. 江泽民. 新时期我国信息技术产业的发展. 上海交通大学学报, 2008(10).
8. 梁朝晖. 上海市碳排放的历史特征与远期趋势分析. 上海经济研究, 2009(7).
9. 钱杰, 俞立中. 上海市化石燃料排放二氧化碳贡献量的研究. 上海环境科学, 2003(11).
10. 上海市发展和改革委员会. 上海能源白皮书, 上海人民出版社, 2006.
11. 帅通、袁雯. 上海市产业结构和能源结构的变动对碳排放的影响及应对策略. 长江流域资源与环境, 2009(10).
12. 唐忆文、沈露莹、郭宏超、郭建利. 上海能源消费结构与能源战略. 上海经济研究, 2005(2).
13. 王锋、吴丽华、杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究. 经济研究, 2010(2).
14. 吴敬琏. 中国应当走一条什么样的工业化道路?. 管理世界, 2006(8).
15. 夏梅兴、唐忆文. 上海市经济发展与能源弹性系数变动研究. 上海经济研究, 2006(1).
16. 张军. 资本形成、工业化与经济增长:中国的转轨特征. 经济研究, 2002(6).
17. 张军、吴桂英、张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算:1952~2000. 经济研究, 2004(10).
18. 赵敏、张卫国、俞立中. 上海市能源消费碳排放分析. 环境科学研究, 2009(8).
19. Ang, B. W., Liu, F. L.. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation, Energy, 2001, (26):537~548.
20. Chen Shiyi. The Abatement of Carbon Intensity in China: Factor Decomposition and Policy Implications, The World Economy, In Press. 2010.
21. Fisher-Vanden Karen, Gary H. Jefferson, Hongmei Liu, Quan Tao. What is driving China's decline in energy intensity? Resource and Energy Economics, 2004, (26):77~97.
22. Fisher-Vanden Karen, Gary H. Jefferson, Ma Jinghui, Xu Jianyi. Technology Development and Energy Productivity in China, Energy Economics, 2006, (28):690~705.
23. Garbaccio, R. F., Ho M. S., Jorgenson D. W.. Why Has the Energy-Output Ratio Fallen in China? Energy, 1999, 20(3):63~91.
24. Qin Duo and Haiyan Song. Sources of investment inefficiency: The case of fixed-asset investment in China, Journal of Development Economics, 2009, 90(1):94~105.
25. Timmer Marcel P. and A. Szirmai. Productivity Growth in Asian Manufacturing: The Structural Bonus

HypothesisExamined, Structural Change and Economic Dynamics, 2000, (11):371~392.

26. Wu Libo, Shinji Kaneko, Shunji Matsuoka. Driving forces behind the stagnancy of China' s energy-related CO2e-missions from 1996 to 1999:the relative importance of structural change, intensity change and scale change, Energy Poli-cy, 2005, 33(3):319~335.

27. Zhang Jun. Investment, investment efficiency, and economic growth in China, Journal of Asian Economics, 2003, (14):713~734.

www.yangtze.org.cn