

DOI:10.3969/j.issn.1674-8131.2012.03.009

中国工业能源碳排放面板数据估算:1998—2010年*

周五七^{1,2}

(1. 淮南联合大学 经济系,安徽 淮南 232038;2. 华中科技大学 管理学院,湖北 武汉 430074)

摘要:为弥补相关研究对中国工业碳排放估算过于粗略的不足,利用 IPCC 推荐的碳排放核算方法,基于 30 个省级行政区和 36 个两位数细分行业的工业能源消费数据,对 1998—2010 年中国工业能源碳排放总量、地区工业能源碳排放及工业细分行业能源碳排放进行估算,结果表明:工业能源碳排放占据中国能源碳排放的 70% 左右,主要集中分布在东部沿海地区(尤其是环渤海地区)和能源开采与加工、金属冶炼、设备制造及化工制品等重化工行业。因此,工业节能减排应考虑行业差异、地区差异及区域比较优势,依据行业与地区差别制定和实施适宜的工业低碳转型战略,推动工业结构优化升级与发展方式转变。

关键词:CO₂ 排放;工业能源碳排放;碳排放核算;温室气体排放;碳源;碳汇;低碳经济;工业转型

中图分类号:F224.0;F424.1 文献标志码:A 文章编号:1674-8131(2012)03-0068-10

Panel Data Estimation of China's Industrial Energy Carbon Emissions during 1998—2010

ZHOU Wu-qi^{1,2}

(1. School of Economics, Huainan Union University, Anhui Huainan 232038, China;

2. School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Hubei Wuhan 430074, China)

Abstract: Considering that the current estimations do not supply sufficient information about China's industrial carbon emissions, this paper employs the reference approach of IPCC for carbon emission testing method and creates a panel data set of carbon dioxide emissions to estimate total amount of carbon emission of China's industrial energy, regional industrial energy carbon emission and industrial segmented industrial energy carbon emission during 1998—2010 based on the consumption data of industrial energy in 30 provinces and municipalities and 36 two-digit segmented industrial industries. The results show that industrial energy carbon emission amounts to approximate 70 percent of China's energy carbon emission, which are concentrated in eastern coastal region especially in around Bohai region and in the heavy and chemical industries such as energy extraction, processing, metal smelting, equipment manufacturing and chemical products. Thus, industrial energy conservation and emission reduction should consider industrial difference, regional difference and regionally comparative advantage and industrial low carbon transition strategy should be worked out and implemented based on industrial and regional difference to boost industrial structure optimization and upgrading and industrial development mode transformation.

Key words: carbon dioxide emissions; industrial energy carbon emission; carbon emission testing; greenhouse gas emission; carbon source; carbon sinks; low-carbon economy; industrial transformation

* 收稿日期:2012-04-08;修回日期:2012-05-01

基金项目:教育部人文社科青年基金项目(12YJC630006);淮南联合大学人文社科重点项目(WZD1101)

作者简介:周五七(1974—),男,安徽枞阳人;副教授,博士研究生,在淮南联合大学经济系任教、华中科技大学管理学院学习,主要从事能源技术经济与创新管理研究。

一、引言

在全球低碳博弈与低碳竞争的国际背景下,中国政府于2009年公布了自主碳排放减缓行动目标,即到2020年中国单位GDP的碳排放比2005年下降40%~45%;“十二五”规划进一步明确提出了单位GDP能耗降低16%和单位GDP碳排放降低17%的目标。中国工业生产具有明显的高能耗高排放低效率的粗放式特征,工业是中国能源消耗和人为碳排放的主要领域,占GDP40%的工业消耗了全国68%的能源,产生了全国83%的碳排放(陈诗一,2010)。从长期来看,基于能源消耗与要素投入驱动的粗放式增长是不可持续的,中国必须加快经济发展方式转变,着力通过节能减排来推动工业低碳发展转型。

研究工业节能减排与低碳转型,首先必须考察工业能源消费与碳排放的历史变迁与现状。中国工业能源消费数据可从官方公开发布的统计数据中获取,但官方统计机构尚未发布工业碳排放数据,国际主要温室气体排放数据开发机构也没有提供中国省区与行业碳排放数据^①,需要研究者选择合适的方法自行估算。同时,由于中国不同地区、不同工业行业的经济增长模式与经济发展水平差异较大,工业节能减排必须考虑不同地区、不同行业的碳排放现状及差异。因此,科学估算中国工业能源碳排放的地区、行业面板数据是进行低碳经济研究与决策的一项基础性工作。

碳排放估算方法主要有三种:实测法、模型法和衡算法。实测法以科学采样和连续监测为基础,但存在监测成本高、可靠性差等问题,难以推广使用。模型法利用系统模型或综合评价模型对碳排放进行估算和预测,比如《斯特恩报告》中的PAGE模型(Stern,2007);模型设定及模型中参数选择的不确定性会影响估算结果,主要用于碳排放预测及碳减排政策评估(王灿等,2005)。衡算法基于碳质量守恒定律^②。相对于CH₄和N₂O等温室气体排放而言,CO₂排放因子主要取决于燃料碳含量,而对

燃烧技术与燃烧条件的敏感性较低,基于燃料消费量和燃料碳含量,可对能源碳排放进行较为精确的估算。因此,衡算法在碳排放数据估算中应用广泛。

IPCC关于温室气体排放清单的编制也是基于衡算法,《IPCC国家温室气体清单编制指南》(IPCC,1995,1996,2006)以及《IPCC国家温室气体清单优良作法指南和不确定性管理》(IPCC,2000)为各国温室气体排放核算提供了参考依据,并在实证研究中得到了广泛应用。现有文献关于中国宏观层面的碳排放估算较多(Wang et al,2005;Wu et al,2006;杜立民,2010;宋德勇等,2009),但针对中国工业能源碳排放的估算较少且估算结果较为粗略,从分行业、分地区的视角对工业能源碳排放进行全面核算的更少(Liu et al,2007;王强等,2011)。为弥补相关研究对中国工业能源碳排放估算过于粗略的不足,本文利用IPCC(2006)所介绍的碳排放核算方法,对1998—2010年期间中国不同部门能源碳排放、不同地区工业能源碳排放及工业细分行业能源碳排放进行全面、系统核算,构建一个较为翔实的面板数据集,以期能为相关理论研究与政策决策提供数据参考。

二、工业能源碳排放核算方法

1. 碳源界定

碳源是相对于碳汇而言的专门术语,是指CO₂从地球表面进入大气或者大气中其他物质转化为CO₂的活动,包括自然源和人为源,其中人为碳源被认为是大气中CO₂浓度增加的主要原因。根据IPCC(2006)对温室气体排放源的五类划分,碳排放源可相应的分为能源活动、工业生产过程与产品使用、农业林业和其他土地利用、废弃物及其他五类。在上述五类碳排放源中,与工业生产直接相关的是能源活动和工业生产过程与产品使用,其中,能源活动包括能源生产、能源加工与转换、能源消费及生物质燃烧,工业生产过程与产品使用是指工业生

^① 国际温室气体排放数据开发机构提供各国碳排放清单,但仅限于国家层面的宏观数据,不涉及特定国家具体部门和地区的碳排放清单,这些机构主要有美国能源信息署(EIA)、美国橡树岭国家实验室CO₂信息分析中心(CDIAC)、世界资源研究所(WRI)和国际能源署(IEA)。

^② 工业生产投入内含的碳(主要来自化石能源)在其燃烧过程中会产生CO₂,假设化石燃料中的碳等于其所有衍生产物中的总含碳量,那么,根据化石能源投入量、含碳量及其氧化率就可以计算出CO₂排放量。

产过程中非能源燃烧^①。由于工业生产过程 CO₂ 排放对行业生产工艺与生产条件敏感性较强,不同行业差异较大,本文中工业碳排放仅限于化石能源燃烧产生的碳排放,不包含工业生产过程碳排放及非燃料用途的能源碳排放,用于原料、还原剂或非能

源用途(如润滑剂、固体石蜡、溶剂)的碳流量应从中排除。由于生物质燃烧主要存在于农村居民消费,工业生产中极少使用,故不纳入工业能源碳排放核算范围。工业能源碳排放源分类如表 1 所示。

表 1 工业能源碳排放源分类

碳源	具体能源活动	核算范围
化石能源生产	煤炭、石油与天然气开采	纳入
能源加工与转换	煤炭洗选、煤制品加工、火力发电、炼焦、炼油	纳入
能源消费	采矿业、制造业以及电力、热力、燃气及水生产和供应业	纳入
生物质燃烧	薪柴、秸秆等燃烧	排除

资料来源:根据《2006年 IPCC 国家温室气体清单编制指南》(IPCC, 2006)整理

2. 核算方法

IPCC(2006)提供了基于衡算法估算化石能源碳排放的部门方法^②(Sectorial Approach)和参考方法(Reference Approach)^③。本文采用部门法对工业能源碳排放进行估算,具体计算公式为:

$$CO_2 = \sum_{i=1}^n (CO_2)_i = \sum_{i=1}^n E_i \times NCV_i \times CEF_i \times COF_i \times (44/12) \quad (1)$$

式中, E 代表能源消耗的实物量, i 代表能源种类, NCV 为能源的平均低位发热量(IPCC称为净发热值), CEF 为单位热值当量的碳排放因子, COF 是碳化因子(化石燃料中只有很小一部分碳在燃烧过程中不会被氧化,99%~100%的碳都被氧化了,故缺省值设为1),44和12分别为CO₂和C的分子量。

对于国别碳排放的估算存在消费者原则、生产者原则及混合责任原则的争议(Lenzen et al, 2007; Andrew and Forgie, 2008)。本文仅针对工业层面的碳排放进行估算,根据面板数据估算对象的特征,一次能源碳排放核算全部采取终端能源消费原则,电力(热力)碳排放根据核算层次的不同,按终端消费原则或实际生产原则进行核算。具体地说,在核算工业碳排放总量时,电力(热力)生产导致的碳排放按终端消费比例分配到相应产业;在核算省级工业能源碳排放时,火电(热力)生产中释放的碳排放

按终端消费原则进行省际分摊,以体现省际碳排放的公平性;在核算工业细分行业碳排放时,按实际生产者原则将火电(热力)碳排放全部计入火电(热力)生产部门,不向其他部门分摊,以体现行业真实碳排放责任。

3. 参数设定

依据(1)式估算工业能源 CO₂ 排放量时,需要利用工业各类能源的消耗量,并需要对各类能源的平均低位发热量、碳化因子和碳排放因子等参数值进行设定,相关参数设定如表 2 所示。各化石燃料的平均低位发热量取自《中国能源统计年鉴》附录 4,其中,型煤、其他石油制品和其他焦化产品的净发热值取自 IPCC(2006)第二卷第一章中的表 1.2。

由于研究的时间范围仅限于 1998—2010 年,在这一较短的时期内,假定各类化石能源的碳排放因子变化微小以至可以忽略,而火力发电及供热的燃料构成及技术条件随时间有较大变化,不同年度的电力与热力 CO₂ 排放因子需要具体测算。本文先根据火电(供热)部门在发电(供热)中的各类燃料消耗量及其碳排放系数来计算火电(供热) CO₂ 排放量,然后除以当年全部电力及热力供应量可得到平均电力(热力) CO₂ 排放因子,结果如表 3 所示。

① 比如水泥与石灰生产过程中的石灰石煅烧分解释放的 CO₂ 等。

② 部门方法有三种,从方法 1 到方法 3 对数据精度要求越来越高。

③ 参考方法是一种自上而下的估算方法,不考虑化石燃料的中间转换,只考虑各种类型燃料使用而不区分各类燃料在不同部门的消耗情况,相对自下而上的部门方法,更易于获取相关数据,计算方便简捷,是 IPCC 所推荐的缺省方法。

表2 工业能源碳排放估算中的参数设定

能源	平均低位发热量	碳氧化率/%	碳排放因子
原煤	20 908 KJ/Kg	100	25.8 t/TJ
洗精煤	26 344 KJ/Kg	100	25.8 t/TJ
其他洗煤	8 363 KJ/Kg	100	25.8 t/TJ
型煤	20 700 KJ/Kg	100	26.6 t/TJ
焦炭	28 435 KJ/Kg	100	29.2 t/TJ
原油	41 816 KJ/Kg	100	20.0 t/TJ
汽油	43 070 KJ/Kg	100	18.9 t/TJ
煤油	43 070 KJ/Kg	100	19.5 t/TJ
柴油	42 652 KJ/Kg	100	20.2 t/TJ
燃料油	41 816 KJ/Kg	100	21.1 t/TJ
液化石油气	50 179 KJ/Kg	100	17.2 t/TJ
炼厂干气	46 055 KJ/Kg	100	15.7 t/TJ
焦炉煤气	16 726 KJ/m ³	100	12.1 t/TJ
其他煤气	15 054 KJ/m ³	100	12.1 t/TJ
天然气	38 931 KJ/m ³	100	15.3 t/TJ
其他石油制品	41 816 KJ/Kg	100	20.0 t/TJ
其他焦化产品	28 345 KJ/Kg	100	25.8 t/TJ
热力(当量值)	—	—	根据火电及热力生产
电力(当量值)	—	—	的细分能源投入计算

资料来源:《综合能耗计算通则》(GB/T2589—2008)附录A,《2006年IPCC国家温室气体清单编制指南》(IPCC,2006)第二卷第一章中的表1.2和表1.3。

表3 电力、热力CO₂排放因子

年度	电力/万吨/亿千瓦时	热力/吨/亿千焦
1998	8.69	11.13
1999	8.64	12.85
2000	8.38	13.09
2001	8.22	12.75
2002	8.42	11.85
2003	8.70	13.05
2004	8.49	12.96
2005	8.36	12.64
2006	8.31	12.57
2007	7.94	12.39
2008	7.77	12.10
2009	7.72	11.90
2010	7.30	10.89

资料来源:作者根据能源统计资料整理计算所得

三、基于部门比较的工业能源碳排放估算

为便于考察中国工业能源碳排放的变迁，先核算工业总体能源 CO₂ 排放水平，并将其与其他部门 CO₂ 排放水平比较，以突出其地位的重要性。《中国能源统计年鉴》中的《中国能源平衡表》将能源终端消费分成七个部门进行报告，这七个部门分别为农林牧渔水利业、工业、建筑业、交通运输仓储及邮电通讯业、批发和零售贸易餐饮业、生活消费及其他。利用表中所提供的各部门全部 19 种终端能源消费^①的实物量（去除原料用途的能源消费）来估算部门 CO₂ 排放量，遵循完全终端能源消费原则，先计算一次能源终端消费碳排放，电力（热力）生产导致的碳排放按其终端消费比例分配到相应终端消费部门，电力输配损失所含碳排放忽略不计。再将本文估算的中国 CO₂ 排放总量分别与国际能源署（IEA, 2011）、美国橡树岭国家实验室 CO₂ 信息分析

中心（CDIAC, 2011）估算的中国 CO₂ 排放数据进行比较（见图 1），本文估算结果大体上位于 IEA 与 CDIAC 的估算结果之间。由于 CDIAC 估算结果包含了水泥 CO₂ 排放量，而本文及 IEA 的估算结果均不含水泥 CO₂ 排放，因而，CDIAC 估算数据要高于本文及 IEA 的估算数据；本文估算结果与 IEA 估算结果非常接近（两者差异程度小于 5%），说明本文的估算方法与估算结果较为可靠。

图 1 描述了中国能源 CO₂ 排放随时间递增的变化趋势，反映的是中国 CO₂ 排放总量的变化趋势，不能显示工业能源 CO₂ 排放在其中所占的份额及重要地位。图 2 进一步描述了中国能源 CO₂ 排放的部门构成，在 1998—2010 年期间，各部门能源 CO₂ 排放份额没有发生明显的变化，工业能源 CO₂ 排放一直占据了 70% 左右的份额。

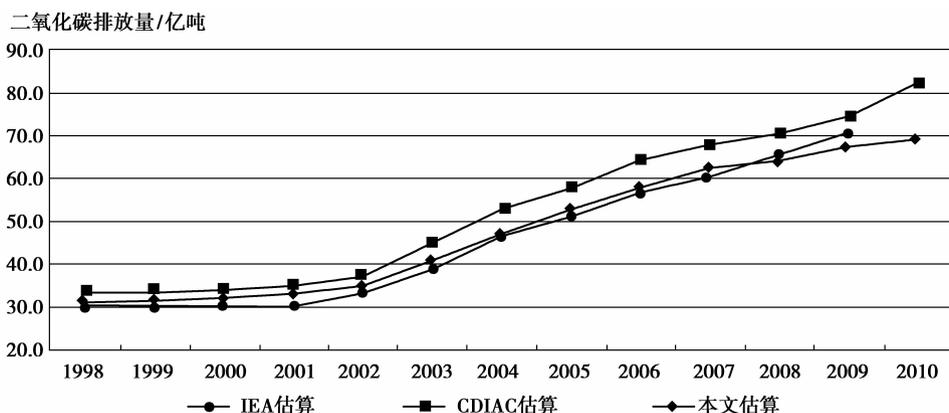


图 1 1998—2010 年中国能源碳排放量估算结果及比较

资料来源：根据 IEA (2011)、CDIAC (2011) 及本文估算数据整理

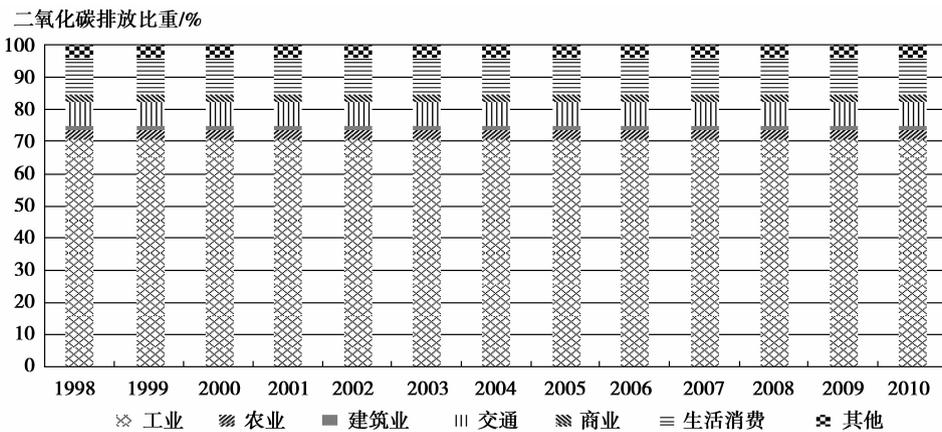


图 2 1998—2010 年中国终端能源消费碳排放的部门构成

^① 19 种细分能源包括原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、焦炉煤气、其他煤气、天然气、其他石油制品、其他焦化制品、电力和热力。

图3进一步描述了中国工业能源CO₂排放与全国能源CO₂排放随时间变化的趋势。从中可以看出,自2001年以来,工业能源CO₂排放增长速度

明显加快,2003年后增长速度虽趋于下降,但工业CO₂排放的年增长速度基本上均在10%以上,与此间中国工业经济重工业化发展的倾向有关。

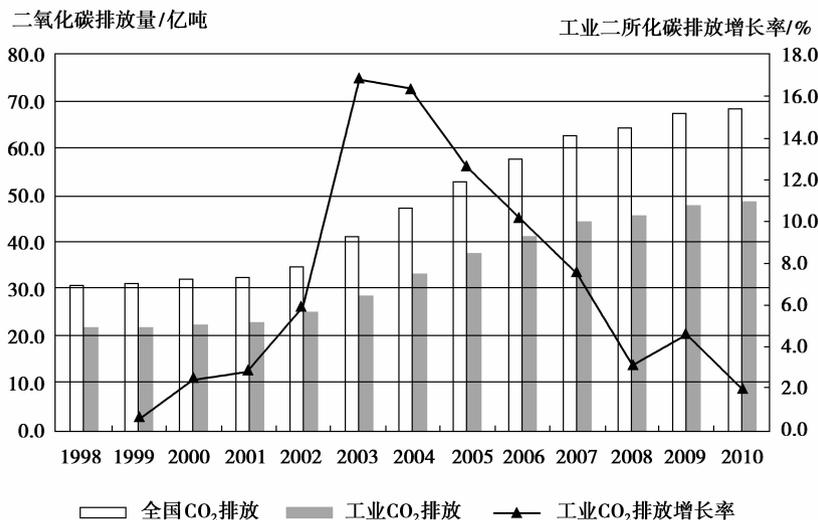


图3 1998—2010年中国工业能源碳排放及其年增长率

四、分地区的工业能源碳排放估算

利用《中国能源统计年鉴》中的《地区能源平衡表》提供的地区工业19种细分能源终端消费量(实物量),对中国内地30个省级行政区(西藏自治区因统计数据缺失严重而未纳入)的工业能源CO₂排放进行估算与比较。由于不同种类的能源碳排放系数存在差异,不同地区的工业能源消费结构也有差异,为减少对一次能源采取煤炭、石油和天然气的粗略划分可能引致的估算误差,本文利用前述(1)式,根据19种细分能源终端消费量(去除原料用途的能源消费)和相应能源的碳排放系数来推算各地工业能源CO₂排放量。

根据终端消费者原则,对火电(热力)生产中释放的碳排放进行省际分摊,尽管电力消费过程本身不产生碳排放,但对一个特定区域而言,其电力生产地与电力消费地并非完全一致,本文按照工业电力实际使用地原则^①来合理分摊火电生产过程中释放的碳排放,这对于一些电力(火电)生产大省和电力输出大省而言更具公平性。其中,各地热力与电力碳排放系数需要估算。由于热力通常由本地供给,热力碳排放系数根据《地区能源平衡表》中供热

的细分能源投入数量及其碳排放系数直接进行计算;各地工业电力消费可能含有外地成分,由于无法获得本地工业电耗中外地电力比例及其具体来源地,各地工业终端电力消费产生的碳排放用本地电力碳排放系数与本地工业电力消费量的乘积来计算(本地与外地电力碳排放系数的差异忽略不计),本地电力碳排放系数等于本地火力发电产生的碳排放除以本地电力生产总量,本地火电碳排放根据《地区能源平衡表》中火力发电的各种细分能源投入来计算。

利用上述方法对中国30个省级行政区1998—2010年的工业CO₂排放量进行估算,各省区工业CO₂排放变动趋势如图4所示。图中各省区分布次序依照1998年工业CO₂排放由高到低排列。可以看出,1998年工业CO₂排放最多的是江苏省(1.62亿吨),最少的是海南省(仅为0.02亿吨);2010年工业CO₂排放最多的是山东省(6.36亿吨),最少的仍是海南省(0.11亿吨);除北京2010年工业CO₂排放比1998年略有下降外,其他省区2010年工业CO₂排放均比1998年有了较大

① 国际地方环境行动委员会于2009年发布的《国际地方政府温室气体排放分析议定书》(International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol),对地方政府(城市)电力与热力生产中的碳排放也要求按终端消费原则分摊,该协会是一个致力于地方性、地区性和全球性环境问题的地方政府协会,共有1104个地方政府(城市)会员。

幅度的增加。从年平均增长率来看,只有北京年均增长率略为负(-0.23%),特别是自2008年奥运会以来,北京工业CO₂排放出现了连续下降趋势,这可能与近年来北京大量的重工业外迁及严格的

环境管制有关;其他地区工业CO₂排放年平均增长率均为正,其中,年平均增长率超过10%的省区有海南、河北、内蒙古、福建、山东、河南、云南、陕西、宁夏和新疆。

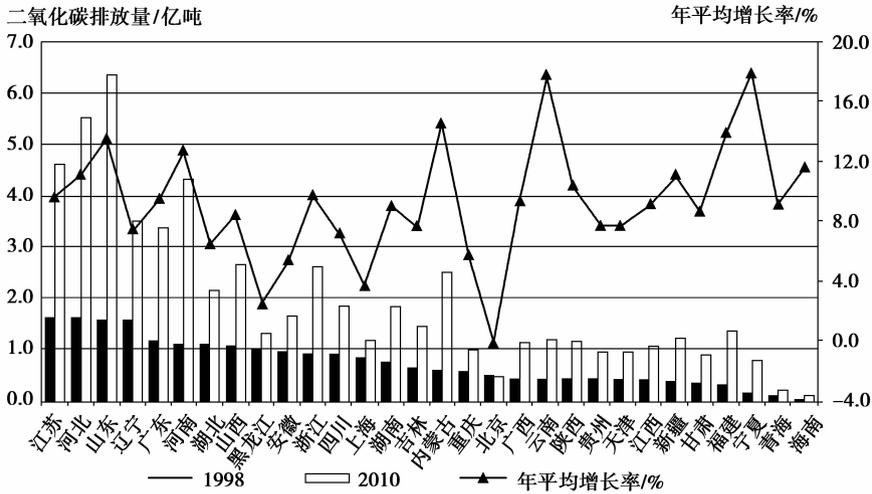


图4 1998—2010年中国省际工业CO₂排放量变动趋势

为考察不同区域工业CO₂排放差异,本文沿用东部、中部和西部三区域划分法,东部包括北京、天津、河北、辽宁、山东、广东、海南、福建、上海、浙江、江苏11省区,中部包括山西、河南、安徽、江西、湖北、湖南、吉林、黑龙江8省区,西部包括重庆、广西、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、内蒙古11省区(未含西藏)。东部、中部与西部的工业CO₂排放占全国的份额分别为51.1%、28.3%、20.6%,显然,东部是全国工业CO₂排放的主要区

域。三大区域工业CO₂排放变动具有明显的阶段性特征,从图5中可看出,在1998—2001年期间,三大区域工业CO₂排放增长趋势缓慢,这与东南亚金融危机后的工业产品出口减少与工业增长放缓及当时的工业结构调整有关;到2001年以后,东部、中部与西部的工业CO₂排放量均出现了加速增长趋势,这与中国加入WTO后出口贸易扩张及再次出现的重工业化趋势有关。

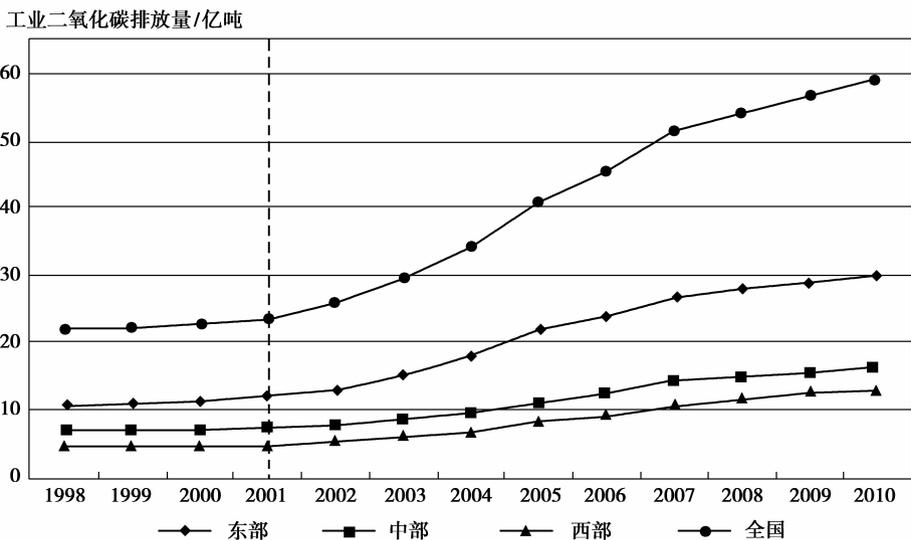


图5 1998—2010年三大区域工业CO₂排放变动趋势

五、工业细分行业能源碳排放估算

1. 工业行业划分

国民经济行业分类的首个国家标准是《国民经济行业分类和代码》(GB 4754-84),先后于1994年、2002年和2011年进行了修订,2002年修订版改名为《国民经济行业分类标准》(GB/T 4754-2002)。本文研究的时间范围为1998—2010年,1998—2002年适用《国民经济行业分类和代码》(GB 4754-94),2003—2010年适用《国民经济行业分类标准》(GB/T 4754-2002)。在这两个不同版本的分类标准中,均将工业分为3个门类:采矿业、制造业、电力热力燃气及水生产和供应业;但有关大类、中类和小类的划分有变动^①,GB/T 4754-94有37个两位数工业行业,GB/T 4754-2002有39个两位数工业行业。为保证统计数据的连续性与可比性,本文选取两个分类标准共有的36个两位数工业行业作为样本对象。

36个两位数工业行业全称及本文对其编码如下:煤炭采选业(H1)、石油和天然气开采业(H2)、黑色金属矿采选业(H3)、有色金属矿采选业(H4)、非金属矿采选业(H5)、农副食品加工业(H6)、食品制造业(H7)、饮料制造业(H8)、烟草制品业(H9)、纺织业(H10)、纺织服装鞋帽制造业(H11)、皮革毛皮羽毛(绒)及其制品业(H12)、木材加工及木竹藤棕草制品业(H13)、家具制造业(H14)、造纸及纸制品业(H15)、印刷业和记录媒介(H16)、文教体育用品制造业(H17)、石油加工炼焦及核燃料加工业(H18)、化学原料及化学制品业(H19)、医药制造业(H20)、化学纤维制造业(H21)、橡胶制品业(H22)、塑料制品业(H23)、非金属矿物制品业(H24)、黑色金属冶炼及压延加工业(H25)、有色金属冶炼及压延加工业(H26)、金属制品业(H27)、通用设备制造业(H28)、专用设备制造业(H29)、交通运输设备制造业(H30)、电气机械及器材制造业(H31)、通信设备计算机及其他电子设备制造业(H32)、仪器仪表及文化办公用机械制造业(H33)、电力热力生产和供应业(H34)、燃气生产和供应业

(H35)、水生产和供应业(H36)。

2. 工业行业碳排放

在核算36个两位数工业行业CO₂排放时,火电及供热产生的CO₂排放按照生产者原则计入电力(热力)生产行业,不再分摊计入其他工业行业,以明确各行业真实碳排放责任。也就是说,其他工业行业能源CO₂排放仅涉及一次能源终端消费产生的CO₂排放,而电力(热力)行业能源CO₂排放则包括两大部分,一部分是该部门一次能源终端消费产生的CO₂排放,另一部分是电力(热力)转换过程中因化石能源燃烧产生的CO₂排放。能源消费数据来自《中国能源统计年鉴》中的《工业分行业终端能源消费量(实物量)表》,为了能充分反映不同工业行业的能源消费结构特征,选取工业分行业19种细分能源终端消费量。由于按终端消费原则估算时电力(热力)碳排放分摊到其他部门,工业部门只分摊其中的一部分,所以,按生产者原则估算的工业碳排放一般要高于按终端消费原则估算的结果。

在《中国能源统计年鉴》中,无论是《分品种能源平衡表》还是《地方能源平衡表》,均没有提供各工业行业原料用途的能源消费量,《中国能源平衡表》提供了工业能源消费中原料用途的消费量,大多数细分能源用于原料用途的比例约占5%。因此,在对各工业行业能源碳排放估算中,本文均按5%比例扣减各细分行业原料消费的非碳排放。

工业行业CO₂排放及其变动趋势如表4所示。年均排放1亿吨以上的行业有电力热力生产和供应业、石油加工炼焦及核燃料加工业、黑色金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业、化学原料及化学制品制造业。1998—2002年期间CO₂排放年均增长率为负的行业有17个;2003—2010年期间年均增长率为负的行业减至6个;1998—2010年期间绝大多数行业CO₂排放年均增长率为正,少数行业CO₂排放有下降趋势,如化学纤维制造业、文教体育用品制造、烟草制品业等。

^① 大类、中类和小类对应的工业行业通常也被称为两位数、三位数和四位数工业行业。

表4 1998—2010年中国工业行业CO₂排放及其变化率

行业	年度排放量/万吨			平均年排放量 /万吨	年均增长率/%		
	1998年	2004年	2010年		1998—2002	2003—2010	1998—2010
H1	5 818	10 082	13 032	8 784	-2.78	13.75	8.24
H2	3 194	3706	4732	4167	8.33	1.73	3.93
H3	407	539	944	567	1.23	11.79	8.27
H4	319	307	321	307	1.12	0.06	0.42
H5	779	949	1125	984	1.94	4.17	3.43
H6	2 820	2 566	2 886	2 598	-3.56	2.40	0.41
H7	1 673	1 482	1 848	1 647	-2.27	2.66	1.01
H8	1 630	1 559	1491	1 508	-4.06	1.17	-0.57
H9	399	326	175	336	4.67	-10.55	-5.48
H10	3 609	4 196	3 522	3773	-1.39	0.79	0.06
H11	386	504	580	490	1.26	4.96	3.73
H12	267	295	227	264	-2.63	-0.05	-0.91
H13	609	860	875	739	-2.40	6.63	3.62
H14	120	94	140	123	3.13	2.47	2.69
H15	2 971	4 059	4 396	3 676	1.89	4.58	3.68
H16	180	140	164	172	2.65	-1.18	0.09
H17	153	115	118	114	-7.60	1.82	-1.32
H18	10 727	17 003	15 170	14 855	2.28	4.46	3.74
H19	23 233	28 824	34 166	28 825	-0.60	5.77	3.64
H20	1 179	1 140	1 274	1 189	0.34	1.13	0.87
H21	1 895	730	668	1 240	1.76	-10.76	-6.58
H22	867	873	920	841	-2.95	2.80	0.88
H23	592	786	887	693	-4.79	8.84	4.30
H24	26 657	36 176	43 176	33 588	-3.91	9.00	4.70
H25	37 820	61 068	106 857	68 373	1.07	13.89	9.62
H26	2 962	4 051	5 316	4 139	0.95	7.57	5.36
H27	1 324	1 132	1 245	1 236	-0.53	-0.16	-0.28
H28	2 138	1 842	3 228	2 275	-5.08	8.83	4.20
H29	1 301	1 436	1 818	1 410	-5.49	7.63	3.26
H30	1 569	1 895	2 516	1 930	2.69	5.58	4.61
H31	728	696	908	729	-3.29	4.82	2.12
H32	376	577	724	568	9.09	4.48	6.02
H33	138	101	143	128	-0.17	3.50	2.28
H34	116 889	207 385	328 492	213 238	7.60	9.81	9.08
H35	449	674	340	621	12.99	-6.51	-0.01
H36	74	89	82	85	2.49	1.72	1.97

资料来源:作者根据本文的计算结果整理

六、主要结论

鉴于现有文献对中国工业碳排放估算过于粗略或笼统,本文利用 IPCC(2006)介绍的碳排放核算部门方法,基于30个省级行政区和36个两位数工业行业的工业能源消费数据,对1998—2010年中国工业能源碳排放总量、地区工业能源碳排放量及工业细分行业能源碳排放进行了全面估算,为工业节能减排与低碳转型研究与决策提供了较为可靠的数据支持。从面板数据估算结果中可得到以下主要结论:

第一,工业是中国能源碳排放的绝对主体,在低碳经济转型中占有重要的战略地位。工业能源碳排放占据全部能源碳排放的70%左右,自中国新一轮重工业化趋势以来,工业碳排放基本保持了10%以上的年增长速度,且继续呈现增长趋势。因此,推动中国低碳经济发展方式转变,关键在于如何促进工业节能减排与工业发展转型,使工业成为引领中国低碳经济转型的典范。

(2)从工业碳排放的地区分布来看,除北京市外,其他省区工业碳排放年均增长率均为正;东部、中部与西部工业碳排放自2001年以来均出现了加速增长趋势,三大区域的工业碳排放份额分别为51%、28%、21%。我国工业碳排放主要集中在东部沿海地区,尤其是环渤海地区,因此工业节能减排应考虑地区差异及区域比较优势,需要因地制宜地引导低碳工业发展。东部沿海地区工业经济基础较好,应该发挥节能减排与低碳转型的示范带头作用。国家发展改革委员会于2010年在广东、辽宁、湖北、陕西、云南5省和天津、重庆、深圳、厦门、杭州、南昌、贵阳、保定8市推行低碳试点工作,这些试点省市在地理位置、资源禀赋、经济发展水平等方面存在较大差异,有很强的样本代表意义,可以为探索不同类型的地区工业节能减排和低碳发展的体制机制提供有益经验。

(3)从工业碳排放的行业差异来看,除少数行业碳排放呈下降趋势,绝大多数行业碳排放呈增长趋势。能源开采与加工、金属冶炼、设备制造及化工制品等行业是中国工业CO₂高排放部门,这些部门对中国工业节能减排有至关重要的影响。因此,应该加大高能耗高排放部门的技术引进与技术改造,加强节能减排技术的推广与商业化应用,提高行业能源利用效率。同时,应大力发展低碳战略新

兴产业和高技术产业,尤其是新能源与环保产业,实现技术减排与结构减排的协同效应,在全球低碳竞争中推动工业结构优化升级与发展方式转变。

参考文献:

- 陈诗一. 2010. 中国的绿色工业革命:基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)[J]. 经济研究,45(11): 21-34.
- 杜立民. 2010. 我国二氧化碳排放的影响因素:基于省级面板数据的研究[J]. 南方经济(11): 20-33.
- 宋德勇,卢忠宝. 2009. 中国碳排放影响因素分解及其周期性波动研究[J]. 中国人口、资源与环境,19(3):18-24.
- 王灿,陈吉宁,邹骥. 2005. 基于CGE模型的CO₂减排对中国经济的影响[J]. 清华大学学报(自然科学版),45(12): 1621-1624.
- 王强,伍世代,李婷婷. 2011. 中国工业经济转型过程中能源消费与碳排放时空特征研究[J]. 地理科学,31(1): 36-41.
- ANDREW R, FORGIE V. 2008. A Three-perspective View of Greenhouse Gas Emission Responsibilities in New Zealand [J]. Ecological Economics, 68:194-204.
- CDIAC. 2011. CO₂ Emissions from Fossil Fuels and Cement Production by Country [EB/OL]. [2012-03-28]. <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/10/data.htm>.
- IEA. 2011. CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights (2011 Edition) [OL]. [2012-05-06]. http://www.iea.org/CO2_highlights/CO2_highlights.pdf.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [EB/OL]. [2012-03-26]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- LENZEN M, MURRAY J, SACK F, WIEDMANN T. 2007. Shared Producer and Consumer Responsibility: Theory and Practice [J]. Ecological Economics, 61:27-42.
- LIU L C, Fan Y, WEI Y M. 2007. Using LMDI Method to Analyze the Change of China's Industrial CO₂ Emissions from Final Fuel Use: An Empirical Analysis [J]. Energy Policy, 35:5892-5900.
- STERN N. 2007. Stern Review on the Economics of Climate Change [R]. Report to the Prime Minister and the Chancellor of the Exchequer on the Economics of Climate Change, London, United Kingdom.
- WANG C, CHEN J N, ZOU J. 2005. Decomposition of Energy-related CO₂ Emission in China: 1957—2000 [J]. Energy, 31(1): 73-83.
- WU L, KANEKO S, MATSUOKA S. 2006. Dynamics of Energy-related CO₂ Emissions in China during 1980 to 2002: the Relative Importance of Energy Supply-side and Demand-side Effects [J]. Energy Policy, 34(18):3549-3572.