

北京终端能源碳消费清单与结构分析

邢芳芳, 欧阳志云*, 王效科, 段晓男, 郑华, 苗鸿

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 基于政府宏观统计数据, 根据 IPCC 参考方法, 估算了 1995~2005 年北京终端能源碳消费量, 详细给出了北京各部门、分能源品种以及 2005 年分行业的能源碳消费清单, 分析了能源碳消费结构. 结果表明, 1995~2005 年北京终端能源碳消费总量和人均能源碳消费量均呈现显著上升趋势, 分别增加了 71.5% 和 38.4%; 终端能源碳消费强度持续下降, 降低了 66.2%. 各部门的终端能源碳消费中, 工业最大, 约占碳消费总量的 53.0%~68.0%, 1995~2005 年平均碳消费量为 14.59 Mt; 其次是第三产业, 约占 15.0%~30.5%, 平均碳消费量为 5.23 Mt; 与 1995 年相比, 2005 年城镇居民生活消费的能源碳消费量增加了 2.02 倍. 目前工业的碳消费仍是主导, 产业结构的调整尚未改变工业消费能源碳的主导地位. 自 2002 年北京终端能源碳消费结构基本趋于稳定, 但是能源结构的调整未能抵消能源消费增加带来的碳消费增量.

关键词: 碳消费; 能源消费; 产业结构; 能源结构; 北京

中图分类号: X24 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)09-1918-06

Inventory of Final Energy-Carbon Consumption and Its Structure in Beijing

XING Fang-fang, OUYANG Zhi-yun, WANG Xiao-ke, DUAN Xiao-nan, ZHENG Hua, MIAO Hong

(State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Final energy-carbon consumption by different sectors and fuel types in Beijing from 1995 to 2005 and energy structure were presented according to IPCC reference approach and statistical data. Specific discussion of energy-carbon consumption category of each industry in 2005 was given. From 1995 to 2005, total and per capita final energy-carbon consumption increased respectively by 71.5% and 38.4%, while final energy-carbon consumption intensity descended by 66.2%. The energy-carbon consumption of Industry was the highest and accounted for about 53.0%~68.0% of total energy-carbon consumption (an average of 14.59 Mt), followed by tertiary industry, which accounted for about 15.0%~30.5% (an average of 5.23 Mt). Moreover, compared with 1995, the energy-carbon consumption of urban residential life had increased 2.02 times in 2005. At present, energy-carbon consumption of Industry is still the predominant part, and the adjustment of industrial structure hasn't yet changed its position. The structure of final energy-carbon consumption in Beijing has become steady since 2002. Although energy structure adjustments were conducted, carbon consumption still increased with the increase of energy use.

Key words: carbon consumption; energy consumption; industrial structure; energy structure; Beijing

1994 年中国完成的有关温室气体排放量估算研究表明, 能源消费过程 CO_2 排放量占 CO_2 排放总量的 96.0% 以上^[1], 化石燃料消费的快速增长对碳排放的增加起着决定性的作用^[2]. 20 世纪 90 年代以来, 《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》的各缔约国都致力于国家温室气体清单的编制和 CO_2 排放量估算方法^[3]、碳代谢^[4~6]、经济发展、能源消费和碳排放的关系^[7~9] 以及碳税^[10, 11] 等方面的研究. 我国在碳排放方面的研究主要集中于 CO_2 减排或者低碳发展下, 中国经济系统影响的情景分析和能源环境政策选择、碳税等方面^[1, 2, 12~18], 关于区域和城市的碳排放和碳代谢的基础研究鲜见报道.

北京地区的能源资源极为有限, 已经发现和开发的一次能源主要是煤炭和水力, 所需石油、天然气全部依靠外地调入, 电力也主要依靠外地调入. 另一

方面, 北京又是个耗能多的城市, 以煤炭为主的能源结构, 是造成大气严重污染和温室气体排放的根源之一, 这很不符合北京的城市功能和性质. 本研究基于北京终端能源消费数据, 参照 IPCC 的参考方法和部分缺省数据, 估算了 1995~2005 年北京终端能源碳消费量, 详细给出了北京分部门、分能源品种以及 2005 年分行业的能源碳消费清单, 分析了能源碳的消费结构, 以期在北京能源消费的综合规划和环境政策选择提供基础依据.

1 材料与方法

1.1 数据来源及分析工具

收稿日期: 2006-10-21; 修订日期: 2006-12-30

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2005CB724206)

作者简介: 邢芳芳(1983~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为城市生态学, E-mail: xingff04@mails.gucas.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

本研究的核心数据包括 1995 ~ 2005 年北京分品种终端能源消费量和分品种能源的净发热量和碳排放因子。其中,1995 ~ 2005 年分品种终端能源消费量来源于文献[19];分品种能源的净发热量和碳排放因子来源于文献[3]。1995 ~ 2005 年北京人口、各产业的 GDP 均来源于文献[20]。数据录入和相关碳量计算在 Microsoft Office Excel 2003 上完成。

1.2 碳量的计算方法

根据政府间气候变化专门委员会提供的参考方法(IPCC-RA)^[3],能源消费的碳排放量等于能源消费量与碳排放因子的乘积(即能源的碳含量)减去碳固定部分,即 $E_{IPCC}^{Release} = E_{IPCC}^{Consumption} - E_{IPCC}^{Storage}$ 。本研究探讨了碳消费量,是估算能源过程碳排放的基础。

经济系统终端能源消费的能源品种主要包括原煤、洗煤、型煤、原油、汽油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、焦炭、煤气、电力、热力、天然气等,本研究把上述燃料进一步归类为煤炭、石油制品、焦化产品、电力、热力和天然气等 6 大类。其中煤炭、焦炭、石油制品、天然气的能源 C 消费量可直接根据 IPCC-RA 提供的缺省值计算,计算公式如下:

$$E_{IPCC}^{Consumption} = \sum_i \alpha Q_i NCV_i EF_i \tag{1}$$

式中, $E_{IPCC}^{Consumption}$ 为不同品种能源的碳消费量(Mt), Q_i 为能源 i 的消费量(kg 或 m^3); NCV_i 为能源 i 的净发热量(net calorific values, $TJ \cdot kt^{-1}$ 或 $TJ \cdot m^{-3}$); EF_i 为能源 i 的碳排放因子(emission factor, $t \cdot TJ^{-1}$); α 为单位转换系数(无纲量)。 NCV_i 和 EF_i 为 IPCC 缺省数据,见表 1。

表 1 能源的净发热量和碳排放因子

能源品种	净发热量/ $TJ \cdot kt^{-1}$	碳排放因子 / $t \cdot TJ^{-1}$
	或 $TJ \cdot m^{-3}$	
煤炭	20.52	26.8
焦炭	28.47	29.5
原油	42.62	20.0
汽油	44.80	18.9
煤油	44.59	19.5
柴油	43.33	20.2
燃料油	40.19	21.1
液化石油气	47.31	17.2
天然气	38.90	15.3

电力和热力的消费过程并无直接碳消费,其碳消费量为生产过程中作为原材料投入的煤炭、天然气等能源的碳含量,计算公式为:

$$E_{elec} = \sum \beta q \mu NCV_{coal} EF_{coal} \tag{2}$$

式中, E_{elec} 为电力和热力的碳消费量(kt), q 为电力和热力的消费量($kW \cdot h$ 和 kJ), NCV_{coal} 为煤炭的净发热量($TJ \cdot kt^{-1}$); EF_{coal} 为煤炭的碳排放因子($t \cdot TJ^{-1}$); β 为单位转换系数(无纲量); μ 为根据电力和热力自身的热功当量换算成煤炭的消耗量 [$kg \cdot (kW \cdot h)^{-1}$ 和 $kg \cdot kJ^{-1}$]。

1.3 碳消费结构变化系数的计算方法

根据张雷提出的能源消费结构变化系数^[17],能源碳消费结构变化系数(energy-carbon consumption structure, ECCS)的基本公式可表示为:

$$ECCS = \frac{\sum (E_{coal}, E_{petr}, E_{coke}, E_{elec}, E_{heat}, E_{ng})}{E_{coal}} \tag{3}$$

式中, E_{coal} 、 E_{petr} 、 E_{coke} 、 E_{elec} 、 E_{heat} 和 E_{ng} 分别为煤炭、石油制品、焦化产品、电力、热力和天然气的终端能源碳消费量。

2 结果与分析

2.1 碳消费量

2.1.1 碳消费总量

1995 ~ 2005 年,北京终端能源消费量呈逐年上升趋势,与 1995 年相比,2005 年终端能源消费量增长了 52.8%;终端能源碳消费总量整体上也呈显著上升趋势,1997 年出现 1 个极小值,为 18.13 Mt,之后持续上升,2005 年达到 31.10 Mt,与 1997 年相比增加了 71.5%(图 1)。1995 ~ 2005 年人均终端能源碳消费量也呈现上升趋势,从 $1.46 t \cdot (cap \cdot a)^{-1}$ 增加到 $2.02 t \cdot (cap \cdot a)^{-1}$,增加了 38.4%;终端能源碳消费强度(即万元 GDP 碳消费量)持续下降,从 $1.33 t \cdot (10^4 元)^{-1}$ 下降到 $0.45 t \cdot (10^4 元)^{-1}$,降低了 66.2%,年均下降率为 10.3%(图 2)。

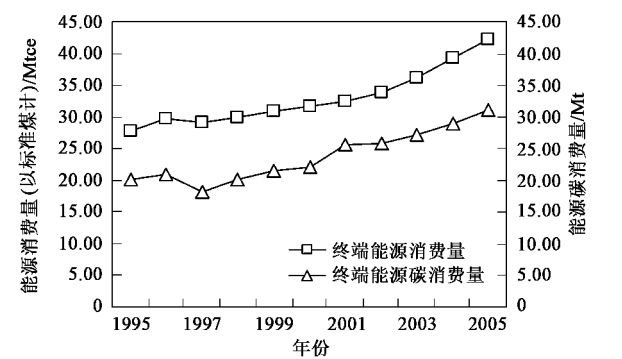


图 1 1995 ~ 2005 年北京终端能源消费量和碳消费量变化
Fig.1 Final energy and energy-carbon consumption from 1995 to 2005 in Beijing

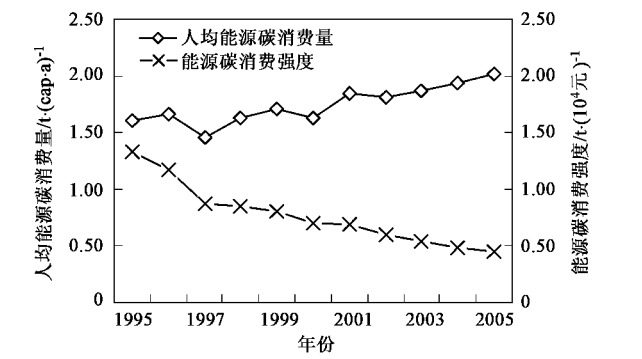


图 2 1995 ~ 2005 年北京人均能源碳消费量和碳消费强度变化

Fig.2 Energy-carbon consumption per capita and energy-carbon consumption intensity from 1995 to 2005 in Beijing

2.1.2 分部门碳消费量

各部门的终端能源碳消费量存在较大差异(表

2),其中工业的碳消费量最大,1995 ~ 2005 年平均为 14.59 Mt; 其次是第三产业和生活消费,平均碳消费量分别为 5.23 Mt 和 3.15 Mt; 农林牧渔水利业和建筑业的碳消费量最小,平均为 0.49 Mt 和 0.33 Mt. 随着北京城市化水平的不断提高,城镇居民生活消费的能源碳消费量显著增加,2005 年较 1995 年增加了 2.02 倍;2005 年北京市的城市化率为 83.6%^[20],城镇人均生活能源碳消费为 0.24 t·(cap·a)⁻¹.

2.1.3 分品种能源碳消费量

不同品种能源的碳消费量差异较大(表 3),其中煤炭的碳消费量最大,1995 ~ 2005 年平均为 6.68 Mt; 其次是石油制品和焦化产品,平均碳消费量分别为 5.55 Mt 和 5.37 Mt; 电力和热力的分别为 3.38 Mt 和 2.33 Mt; 天然气的最小,为 0.63 Mt.

2.1.4 分行业能源碳消费量

表 2 1995 ~ 2005 年北京各部门终端能源碳消费量/Mt								
Table 2 Final energy-carbon consumption by different sectors from 1995 to 2005 in Beijing/Mt								
年份 /年	农林牧渔水 利业碳消费量	工业碳 消费量	工业碳消费量中用作 原料、材料碳消费量	建筑业碳 消费量	生活消费 碳消费量	生活消费碳消费量 中城镇碳消费量	第三产业 碳消费量	碳消费总量
1995	0.65	13.11	1.81	0.22	2.89	1.01	3.20	20.07
1996	0.55	13.97	1.48	0.21	2.78	1.83	3.47	20.98
1997	0.26	12.09	2.17	0.27	2.72	1.70	2.79	18.13
1998	0.47	13.76	2.12	0.26	2.71	1.68	3.03	20.23
1999	0.41	13.55	2.04	0.27	2.69	1.78	4.58	21.50
2000	0.51	13.53	2.29	0.30	3.00	2.05	4.85	22.19
2001	0.54	16.21	1.86	0.34	3.11	2.10	5.38	25.58
2002	0.52	15.76	2.49	0.39	3.09	2.18	6.07	25.83
2003	0.51	16.23	2.32	0.42	3.61	2.39	6.47	27.24
2004	0.46	15.81	2.54	0.50	3.87	2.69	8.21	28.85
2005	0.46	16.49	2.56	0.50	4.18	3.05	9.47	31.10

表 3 1995 ~ 2005 年北京不同品种能源碳消费量/Mt						
Table 3 Energy-carbon consumption of different energy type from 1995 to 2005 in Beijing/Mt						
年份/年	煤炭碳消费量	石油制品碳消费量	焦化产品碳消费量	电力碳消费量	热力碳消费量	天然气碳消费量
1995	6.99	3.78	4.78	2.25	2.21	0.06
1996	7.13	4.29	4.78	2.45	2.26	0.08
1997	5.83	4.47	4.59	2.56	2.08	0.10
1998	6.27	4.40	4.60	2.76	2.05	0.15
1999	7.19	4.82	4.24	2.98	2.01	0.25
2000	6.90	5.11	4.30	3.31	2.21	0.35
2001	6.85	5.30	7.09	3.44	2.19	0.71
2002	5.97	6.39	6.41	3.78	2.29	0.98
2003	6.34	6.21	7.06	4.04	2.45	1.14
2004	6.72	7.60	5.93	4.44	2.78	1.38
2005	7.23	8.70	5.32	5.11	3.05	1.68

表 4 给出了 2005 年北京分行业能源碳消费清单(没有包括能源碳消费量 < 0.2 Mt 的国民经济行业),可见,能源碳消费主要集中于电力、热力的生产

和供应业、黑色金属冶炼及压延加工业、交通运输、仓储和邮政业、石油加工炼焦及核燃料加工业、房地产业等行业.

表 4 2005 年北京分行业能源碳消费量/Mt

Table 4 Energy-carbon consumption by different industry in 2005 in Beijing/Mt

行业	碳消费量	行业	碳消费量
电力、热力的生产和供应业	8.19	黑色金属冶炼及压延加工业	5.93
交通运输、仓储和邮政业	3.17	石油加工、炼焦及核燃料加工业	2.18
非金属矿物制品业	1.83	房地产业	1.58
住宿和餐饮业	0.88	化学原料及化学制品制造业	0.81
教育	0.75	批发和零售业	0.63
租赁和商务服务业	0.57	建筑业	0.50
农、林、牧、渔业	0.46	科学研究、技术服务和地质勘查业	0.42
公共管理和社会组织	0.41	居民服务和其他服务业	0.37
交通运输设备制造业	0.37	卫生、社会保障和社会福利业	0.27
饮料制造业	0.25	文化、体育和娱乐业	0.20

2.2 碳消费结构

2.2.1 产业结构

生产部门指的是第一产业、第二产业和第三产业,终端能源碳消费中,生产部门的能源碳消费占能源碳消费总量的 85.0%~88.0%。通常,用三大产业的百分比来表达产业结构整体演进状态,本研究同时引入三大产业的 GDP 和能源碳消费百分比,用以比较北京 1995~2005 年产业结构的演进趋势。GDP 表征的“三、二、一”型产业结构,1995~2000 年进行第一、二产业比例下降和第三产业比例上升的过程,2001~2005 年基本维持不变(图 3);终端能源碳消费表征的“二、三、一”型产业结构,1995~2000 年呈现波动变化,2001~2005 年在进行第一、二产业比例下降和第三产业比例上升的过程(图 4)。

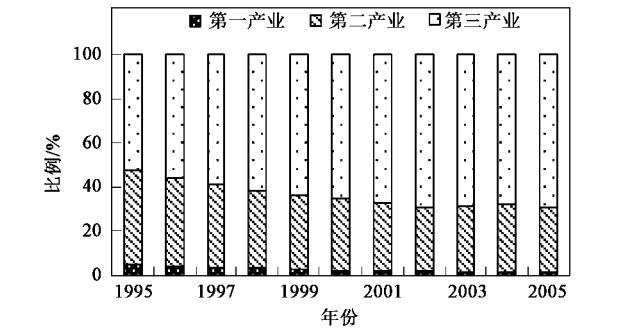


图 3 1995~2005 年北京三大产业 GDP 百分比

Fig.3 Ration of three industries by GDP from 1995 to 2005 in Beijing

2.2.2 能源结构

由公式(3),得到北京 1995~2005 年能源碳消费结构变化系数(图 5),1995~2001 年终端能源碳消费结构变化系数呈现波动变化,2002~2005 年基本维持不变。由此可见,自 2002 年北京终端能源碳消费结构基本趋于稳定,但能源碳消费量仍继续增加。

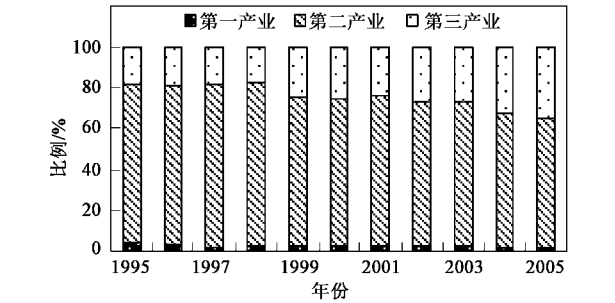


图 4 1995~2005 年北京三大产业终端能源碳消费百分比

Fig.4 Ration of three industries by final energy-carbon consumption from 1995 to 2005 in Beijing

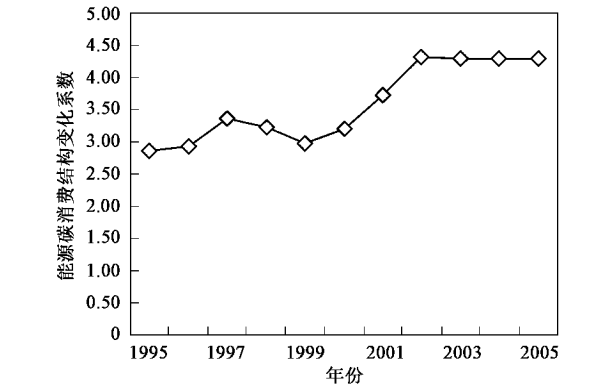


图 5 1995~2005 年北京终端能源碳消费结构变化系数

Fig.5 Structure coefficient of final energy-carbon consumption from 1995 to 2005 in Beijing

根据能源平衡表(实物量)和能源折标准煤参考系数,估算北京 1995~2005 年终端能源消费量,得到其消费结构(图 6)。可见,1995~2002 年煤炭、石油制品和焦化产品的消费呈现波动变化;2003~2005 年煤炭和焦化产品的消费比例降低,石油制品的消费比例增加;1995~2000 年电力和天然气的消费比例逐年增加,热力的消费比例逐年降低;2001~

2005 年电力、热力和天然气的消费比例均呈现逐年增长趋势;从 2002 年开始,石油制品的消费取代了煤炭的主导地位.1995~2005 年北京终端能源碳消费结构的变化趋势与能源消费结构的变化类似(图 7).

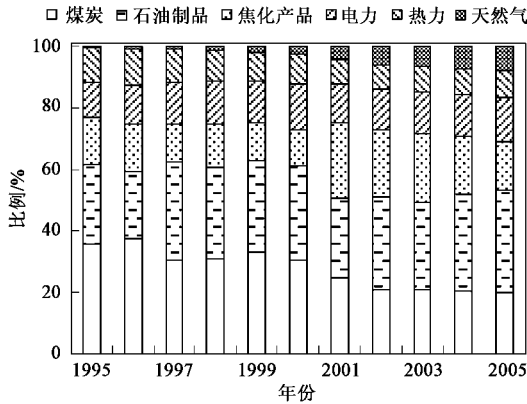


图 6 1995~2005 年北京终端能源消费结构

Fig.6 Structure of final energy consumption from 1995 to 2005 in Beijing

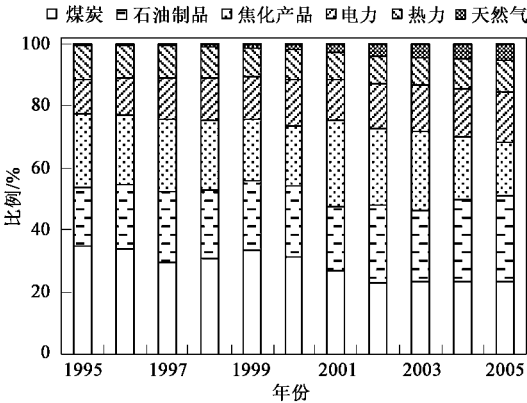


图 7 1995~2005 年北京终端能源碳消费结构

Fig.7 Structure of final energy-carbon consumption from 1995 to 2005 in Beijing

3 讨论

2005 年北京第一、二、三产业的 GDP 百分比是 1.4:29.4:69.2,而第一、二、三产业的能源碳消费百分比是 1.7:63.1:35.2.从碳排放的角度看来,目前工业的碳排放仍是主导,产业结构的调整尚未改变工业消费能源碳的主导地位,北京在一定时期仍是高耗能源碳的产业结构,也是 CO₂ 高排放的产业结构.根据北京总体规划的产业定位,现代服务业将是北京的主导产业,今后应加快产业结构调整步伐,有

效控制高耗能源碳的行业规模、调整结构、降低产品单耗,可缓解能源碳消费的增长趋势及其环境影响.

北京近年来“以气代煤”、“以油代煤”等能源政策的实施促进了能源碳消费结构的稳定,但是能源碳消费量仍在增加,碳排放仍在增加.从煤炭转向石油和天然气等优质、低碳能源可减少碳排放^[21],但是北京能源结构的调整尚未能抵消能源消费增加带来的碳消费增量.此外,我国火力发电煤耗与世界先进国家相比仍然较高,“以电代煤”的能源政策并不能有效降低碳排放.今后应着重于提高能源利用效率,加快低碳能源的技术开发,改变以化石燃料为主的能源结构,积极开发利用太阳能、风能、地热能、生物能和海洋能等新能源和可再生能源,将有效减少温室气体的排放.

由于目前我国各能源品种的碳排放系数尚不完善,本研究采用 IPCC 的碳排放系数和我国公开的统计数据来估算北京终端能源碳消费情况,对北京能源利用与环境保护的政策选择具有一定的参考价值.同时,由于我国能源开发技术和能源利用水平与国际主要国家尚有较大差距,使用 IPCC 的参数不能完全反映我国能源碳消费的现状,所以本研究结果的部分数据清单若用于全国或更大尺度的应用,需要得到进一步验证和改进.

4 结论

(1)1995~2005 年,北京终端能源碳消费总量和人均能源碳消费量均呈显著上升趋势,分别增加了 71.5%和 38.4%;终端能源碳消费强度持续下降,降低了 66.2%.

(2)终端能源碳消费量中,工业最大,约占碳消费总量的 53.0%~68.0%,1995~2005 年平均碳消费量为 14.59 Mt;其次是第三产业,约占 15.0%~30.5%,平均碳消费量为 5.23 Mt.目前工业的碳消费仍是主导,产业结构的调整尚未改变工业消费能源碳的主导地位.

(3)与 1995 年相比,2005 年城镇居民生活消费的能源碳消费量增加了 2.02 倍.

(4)自 2002 年北京终端能源消费结构基本趋于稳定,但是能源碳消费总量仍在增加,能源结构的调整尚未能抵消能源消费增加带来的碳消费增量.

参考文献:

[1] 曲格平. 能源环境可持续发展研究[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2003. 26~27.
[2] 中国气候变化国别研究组. 中国气候变化国别研究[M]. 北京:清华大学出版社, 2000.

[3] IPCC/IEA/OECD/UNEP. Greenhouse gas inventory reporting instruction, revised 1996 IPCC guidelines for nationla greenhouse gas inventories, vol. 1-3[M]. Bracknell, UK: IPCC WGI Technical Support Unit, 1997.

[4] Takahashi T. The fate of industrial carbon dioxide[J]. Science, 2004, **305**: 352 ~ 353.

[5] Uihlein A, Poganietz W R, Schebek L. Carbon flows and carbon use in the German anthroposphere: an inventory [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2006, **46**: 410 ~ 429.

[6] Kubeckzo K. Monitoring climate policy: a full carbon accounting approach based on material flow analysis [D]. Vienna: Vienna University of Economics and Business Administration, 2003.

[7] Richmond A K, Kaufman R K. Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions? [J]. Ecological Economics, 2006, **56**: 176 ~ 189.

[8] Dinda S, Coondoo D. Income and emission: A panel data-based cointegration analysis [J]. Ecological Economics, 2006, **57**: 167 ~ 181.

[9] Soytaş U, Sari R, Ewing B T. Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States [J]. Ecological Economics, 2007, **62**(3-4): 482 ~ 489.

[10] Gerlagh R, Lise W. Carbon taxes: A drop in the ocean, or a drop that erodes the stone? The effect of carbon taxes on the technological change[J]. Ecological Economics, 2005, **54**: 241 ~ 260.

[11] Bruvoll A, Larsen B M. Greenhouse gas emissions in Norway: do carbon taxes work? [J]. Energy Policy, 2004, **32**: 493 ~ 505.

[12] 郎一环, 王礼茂, 王冬梅. 能源合理利用与 CO₂ 减排的国际经验及其对我国的启示[J]. 地理科学进展, 2004, **23**(4): 28 ~ 34.

[13] 王冰妍, 陈长虹, 黄成, 等. 低碳发展下的大气污染物和 CO₂ 排放情景分析——上海案例研究[J]. 能源研究与信息, 2004, **20**(3): 137 ~ 145.

[14] 何建坤, 刘滨. 作为温室气体排放衡量指标的碳排放强度分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, **44**(6): 740 ~ 743.

[15] 陈文颖, 高鹏飞, 何建坤. 二氧化碳减排对中国未来 GDP 增长的影响[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, **44**(6): 744 ~ 747.

[16] 王灿, 陈吉宁, 邹骥. 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), 2005, **42**(12): 1621 ~ 1624.

[17] 张雷. 经济发展对碳排放的影响[J]. 地理学报, 2003, **58**(4): 629 ~ 637.

[18] 高鹏飞, 陈文颖. 碳税与碳排放[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002, **42**(10): 1335 ~ 1338.

[19] 国家统计局工业交通统计司. 中国能源统计年鉴(1991 ~ 2005)[M]. 北京: 中国统计出版社, 1991 ~ 2005.

[20] 北京市统计局. 北京统计年鉴(1996 ~ 2006)[M]. 北京: 中国统计出版社, 1996 ~ 2006.

[21] 中国科学院. 2003 高技术发展报告[M]. 北京: 科学出版社, 2003.