

上海能源消费碳排放变化及对局地 气候变化的胁迫评价^{*1}

王 原¹, 赵丽侠¹, 喻 霞¹, 王祥荣²

(1. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 芜湖241003;

2. 复旦大学环境科学与工程系, 上海200433)

【摘 要】:作为典型的河口城市,上海市受全球气候变化和局地气候变化的影响较为深刻.在快速城市化进程中,上海市碳排放量不断增加,能源消耗持续增长,面临着环境保护和经济增长的双重挑战.根据联合国气候变化专门委员会(IPCC)提供的碳排放估算方法,基于对1985~2005年上海能源消费及1995~2006年终端能源消费的CO₂估算分析,选取能源消费总量、电力消费总量、工业能源消费量以及终端能源消费的CO₂排放量,分析与上海局地温度变化和湿度变化等相关气候指标的相关系数,构建能源消费对局地气候变化的胁迫模型.结果表明,上海进入快速城市化阶段以来,能源消费总量显著增长,城市化高速发展阶段能源消费增长要显著高于加速发展阶段;1995~2006年上海终端能源消费的CO₂排放量持续递增,年平均增长率为6%,CO₂排放终端能源结构变化系数逐年增加,终端能源的CO₂排放趋向多元化结构,各产业部门的CO₂排放结构变化主要表现为由工业主导性排放结构逐渐向多产业部门排放格局的转化,其中交通运输、仓储和邮政业、批发零售业和住宿、餐饮业以及建筑业增长幅度较高;能源消费指标和温度变化指标的相关系数均通过 $P=0.01$ 水平的显著性检验,其中和城郊温差的相关系数最高,均大于0.9,且通过 $P=0.001$ 水平的显著性检验;能源消费各指标中工业能源消费总量和城郊温差的相关系数略高于能源消费总量和电力消费;能源消费的增加对城郊温差的胁迫关系符合三次多项式曲线增长.

【关键词】:城市化;碳排放;胁迫评价;相关系数

【中图分类号】:X 171.1 **【文献标志码】**:A **【文章编号】**:0427-7104(2015)04-0439-10

DOI:10.15943/j.cnki.fdxh-jns.2015.04.007

¹收稿日期:2014-11-18

基金项目:国家自然科学基金(41201544);教育部人文社会科学基金(12YJCZH208);教育部博士学科点专项科研基金(20123424120004);国家社会科学基金重大项目(14ZDB140)

作者简介:王 原,男,博士,副教授,硕士生导师,E-mail:oneyuan1216@gmail.com;通讯作者,王祥荣,男,博士生导师,E-mail:xrxrwang@vip.sina.com.

近百年来,以全球平均气温升高^[1-2]、极端事件频发等为主要特征的全球气候变化问题,对全球生态系统的影响不断增加,并逐渐受到世界各国的广泛关注.联合国政府间气候变化专门委员会第五次评估报告^[3]指出,1901~2012 年全球地表平均温度升高了 0.89℃,1951~2005 年上升了约 0.72℃.IPCC^[3-8]5 次评估报告中指出,人类活动是影响气候变化的主要因素,而随着对人类活动认识的加深,认为这种影响程度在不断加大.自 18 世纪中叶工业革命以来,全球碳排放量剧增,这也是导致全球气候变暖的一个直接原因.因此,全球各政府组织积极探索减少碳排放、缓解和适应气候变化影响的策略,节能减排逐渐成为一种国际需求及各国贸易往来的“绿色门槛”.2008 年 6 月,荷兰环境署发布的二氧化碳排放量报告将中国列为世界上最大的碳排放国家.改革开放以来,随着经济的快速发展,我国能源消费持续增长,节能减排压力逐渐加大.因此,有必要通过科学合理的能源消费碳排放调查与分析,提高节能减排政策制定的实效性与其可行性.目前我国常用的碳排放估算方法有三类^[9]:1)根据能源消费量、国内生产总值和人口总数进行估算^[10];2)IPCC^[7]的参考方法,即以能源表现消费量、能源的热转换系数、碳氧化系数、碳排放因子为估算指标;3)IPCC^[7]的部门方法,依据能源碳排放强度和能源消费量进行碳排放量评估.例如,Geng 等^[11]对我国各省区碳排放进行估算,并着重对华北、华南、华东、华中等地区进行碳排放特征分析;赵敏等^[12]采用 15 类能源消费数据,对上海市能源碳排放进行了分析;刘春兰等^[13]、张秀梅等^[14]、翟石艳等^[15]分别对北京、江苏、广东的碳排放进行估算.李艳梅等^[16]、岳超等^[17]、徐国泉等^[18]采用煤炭、石油、天然气、水电与核电能源消费 4 类统计数据进行碳排放估算.IPCC^[6]研究表明,对全球气候变化较为脆弱的地区一般集中在海岸带和江河平原,尤其是城市化进程较快的地区.长江三角洲地区是我国经济发达、人口密集的地区之一,濒江临海,具有典型的河口生态系统的脆弱性特征.上海作为典型的河口城市 and 我国经济中心之一,受全球气候变化影响较为深刻.随着城市化水平的提高,传统城市发展模式已无法满足城市发展的需求.因此,低碳城市概念应运而生.低碳城市是指城市化高速经济发展过程中的能源消耗额二氧化碳排放水平保持在较低状态,这一概念在本质上是与国内提出的落实科学发展观、构建“资源节约型、环境友好型”的社会理念是一致的.在新型城镇化建设与探索中,构建低碳社会是上海市未来发展的前景.因此,有必要分析上海市能源结构及其对气候变化的胁迫及其与城市化进程的相关性,从而帮助确立合理的减排措施.

1 数据来源与方法

1.1 数据来源

研究中使用的气象数据来源于中国气象局国家气象信息中心和上海气候中心^[19],主要利用徐家汇和奉贤气象站1960~2006年的各气象指标.徐家汇站位于市中心,代表上海城区的气温,奉贤站位于郊区,代表城郊的气温.

研究使用的1985~2005年的能源消费总量和电力消费统计数据、终端能源消费的产业结构统计数据、GDP增长和能源消费增长统计数据来自《上海统计年鉴》^[20];上海市2000~2005年一次能源消费结构统计数据来自上海能源白皮书^[21];1995~2006年上海分品种终端能源消费量数据来自《中国能源统计年鉴》^[22].

1.2 研究方法

IPCC 提供了三种估算化石燃料温室气体排放量方法:1)根据国家能源统计和缺省排放因子的燃料燃烧统计;2)根据国家能源统计及特定国家排放因子的燃料燃烧统计;3)依据与特定技术排放因子共同使用的燃烧技术的燃料统计.考虑到 CO₂ 的排放不取决于燃烧技术,并结合相关数据的可获得性,本章采用政府间气候变化专门委员会提供的第一种估算方法,计算上海终端能源消费的二氧化碳排放总量.具体计算公式如下:

$$E = \sum_i C_i \times NCV_i \times EF_i. \quad (1)$$

式(1)E 为终端能源消费的CO₂排放量;C_i为能源i 的终端消费量,根据上海市能源平衡表获得;NCV_i为能源i 的净发热系数,

参考我国各能源发热系数相关标准;EF_i为能源i 的CO₂排放因子, 来源IPCC缺省数据. 其中, 热力和电力的消费过程并无直接碳排放, 其碳排放量为生产过程中作为原材的一次能源碳排放, 上海主要是以煤炭为主的火力发电, 因此电力和热力的碳排放因子采用原煤的系数.

上海终端能源品种主要包括原煤、洗精、其他洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气、其他焦化产品、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、天然气、电力和热力等. 根据 IPCC 国家温室气体清单指南中的相关分类标准, 并结合上海能源消费结构的特征, 本研究把上海终端能源品种分为固体燃料、液体燃料、天然气、电力和热力, 各类能源的净发热系数和CO₂ 排放因子见表 1[6, 22].

表 1 不同终端能源品种的净发热量和 CO₂ 排放因子
Tab. 1 Net calorific values and CO₂ emission factor of different energy

终端能源类型		终端能源品种	净发热量 (kJ/kg)	CO ₂ 排放因子 (kg/TJ)
固体燃料	一次能源	原煤	20 908	98 300
		洗精煤	26 344	94 600
		型煤	20 908	94 600
	二次能源	焦炭	28 435	107 000
		焦炉煤气	16 726	44 400
终端能源类型		终端能源品种	净发热量 (kJ/kg)	CO ₂ 排放因子 (kg/TJ)
液体燃料	一次能源	原油	41 816	73 300
		汽油	43 070	70 000
		煤油	43 070	71 900
		柴油	42 652	74 100
	二次能源	燃料油	41 816	77 400
		液化石油气	50 179	63 100
		炼厂干气	46 055	57 600
天然气	一次能源	天然气	38 931	56 100
其他能源	二次能源	电力	3 596	98 300
		热力	—	98 300

为了进一步分析能源消费过程中的 CO₂ 排放, 本文提出 CO₂ 排放弹性系数和 CO₂ 排放结构系数的概念. CO₂ 排放弹性系数主要用来分析 CO₂ 排放和经济增长之间的关系, 参考能源弹性系数的计算方法, 其计算公式为:

CO₂ 排放弹性系数 = CO₂ 排放量年增长率 / GDP 年增长率. (2)

CO₂ 排放结构系数主要表征能源消费过程中 CO₂ 排放的能源类型结构的多样性, 参考张雷 [23] 提出的能源消费结构变化系数, 计算公式为:

$$\text{CO}_2 \text{ 排放结构系数} = \sum \frac{(\text{固体燃料排放, 液体燃料排放, 天然气排放, 其他能源排放})}{\text{固体燃料排放}} \quad (3)$$

本研究采用非农人口比例衡量城市化水平, 据此确定上海市城市化发展主要可分为3个阶段^[28], 其中, 1960~1977年为逆城市化发展阶段; 1978~1993年为城市化加速发展阶段, 此时, 城市化水平从降低趋势转为增长阶段; 1994~2006年为城市化高速发展阶段, 城市化水平超过70%, 城市化发展进入后期阶段^[29]. 本研究以上海1994年城市化水平70.1%为界, 把上海1994~2006年城市化发展阶段划为高速发展阶段.

2 结果与讨论

2.1 上海市能源消费总量和结构变化

2.1.1 能源消费总量变化

上海虽为全国经济发展水平最高的城市, 但经济发展所需的能源几乎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, 是典型的外源型能源消耗的经济大市^[24]. 根据《上海统计年鉴》1985~2005年的能源消费总量和电力消费统计分析^[24], 如图1(见第442页)所示, 2005年上海市能源消费总量为8.069 43×10¹⁰kg标准煤, 电力消费为9.219 7×10¹⁰kW·h; 1985~2005年, 能源消费总量增长了2.16倍, 平均每年增长3.206 9×10⁹kg标准煤, 年平均增长率为6.28%; 相对于能源消费总量, 电力消费的增长速度较快, 其中电力消费总量增长了3.52倍, 平均每年增长3.591×10⁹kW·h, 年平均增长率为7.75%; 分别比较不同城市化时期的能源消费增长, 城市化高速发展阶段的能源消费和电力消费的年平均增长量分别是加速发展阶段的2.03倍和2.99倍.

考虑到经济的增长对能源消费的拉动, 根据《上海统计年鉴》1985~2005年GDP增长和能源消费增长统计分析^[25], 1985~2005年上海平均能源消费弹性系数为0.68, 总体来说以较低的能源需求增长支撑了经济的高速发展; 其中1994~2005年的GDP年平均增量是1985~1993年的4.96倍, 远高于同期能源消费的增长; 分别计算上海不同城市化阶段的能源消费弹性系数, 1985~1993年和1994~2005年上海能源消费的弹性系数年平均值分别为0.88和0.53, 表明上海进入城市化高速发展阶段的经济发展对能源的依赖程度逐渐降低; 然而, 值得注意的是2003年以来由于工业的增长和第三产业的比重下降, 上海能源弹性系数显著增长, 到2005年为0.81, 表明上海近年来的经济增长模式对能源需求的依赖性较强.

2.1.2 能源消费结构变化

上海能源消费结构以化石能源为主, 一次能源结构仍以煤炭占主要地位, 石油次之. 根据上海市2000~2005年一次能源消费结构统计数据^[21], 如图2所示, 2005年上海一次能源的消费 图2 2000~2005年上海一次能源结构 Fig.2 Trends of primary energy structure in Shanghai during 2000—2005结构为, 煤炭52.82%、原油36.33%、天然气3.15%, 其中外来电力的比例高达7.55%; 在一次能源消费结构中, 煤炭的总量虽然仍在上升, 但所占比重下降, 2000~2005年下降了12.58个百分点; 石油和天然气增速接近, 分别增加了2.33和2.55个百分点; 外来电的比重上升趋势显著, 增加了7.46个百分点.

根据《上海统计年鉴》1985~2005年终端能源消费的产业结构统计分析^[20], 如图3所示, 上海市终端能源消费主要由生产消费构成, 生产消费中以第二产业消费为主导, 2005年第二产业能耗占上海终端能源消费的61.26%, 其次分别为第三产业28.97%, 生活消费8.52%, 第一产业1.25%; 分别比较不同产业类型能源消费比例变化, 1993年上海第二产业的能源消费比例最高为79.56%, 1994年进入城市化高速发展期以来, 第二产业的比例逐年下降, 2005年降至61.26%, 平均每年递减1.52个百分点; 相反, 第三产业进入城市化高速发展阶段以来, 以平均每年1.44个百分点递增; 相对于第二和第三产业, 生活消费和第一产业的终端能源

消费比例变化趋势不大,变化范围分别在8.12%~9.81%及1.25%~3.33%之间.

2.2 上海终端能源消费的CO₂排放分析

1994年中国完成的有关温室气体排放量估算研究结果表明,能源消费过程CO₂排放量占排放总量的96%以上,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^[26-27]. 本文基于《中国能源统计年鉴》中1995~2006年上海分品种终端能源消费量数据[22],参考2006年IPCC国家温室气体清单指南中提出的能源消费过程中CO₂排放量的计算方法^[6],分析上海城市化高速发展阶段时期内的CO₂排放量和结构变化特征.

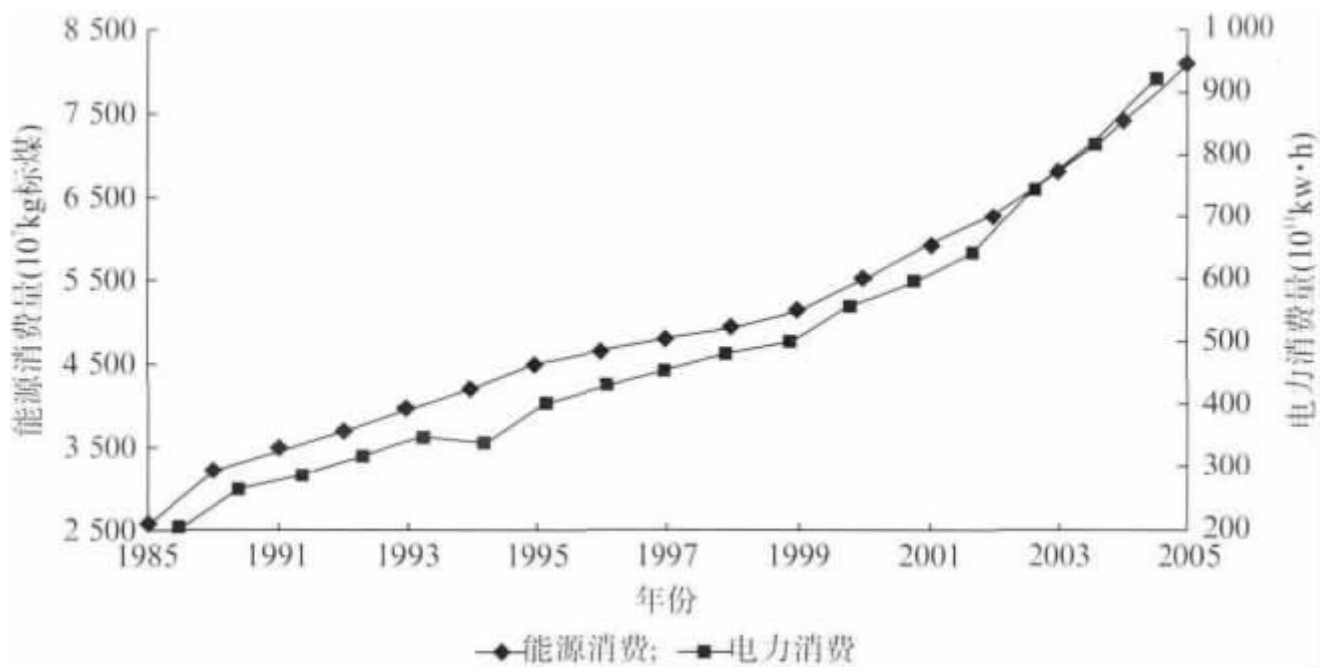


图1 1985~2005年上海市能源消费和电力消费的变化趋势

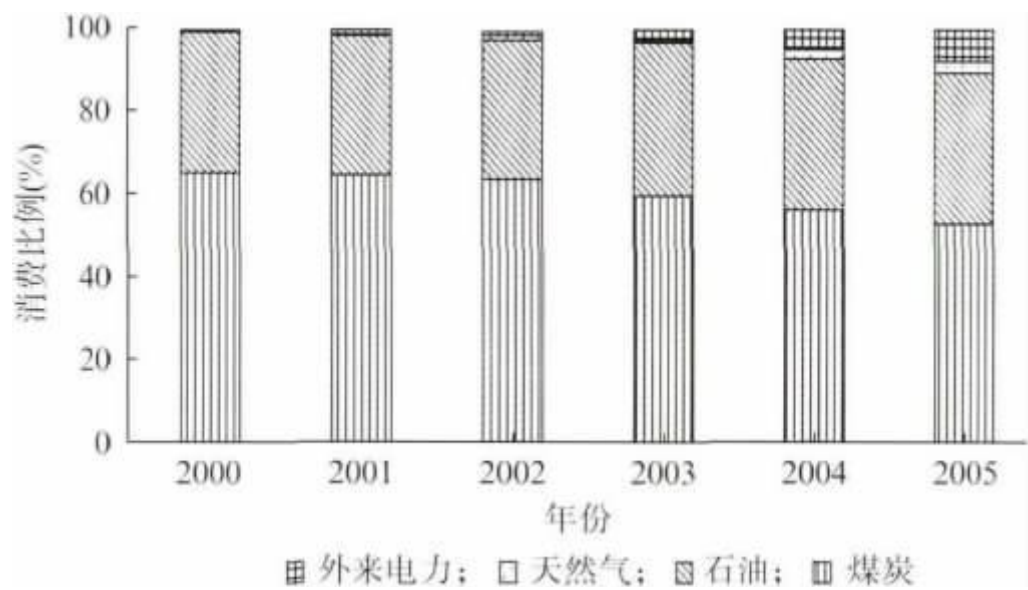


图2 2000~2005年上海一次能源结构

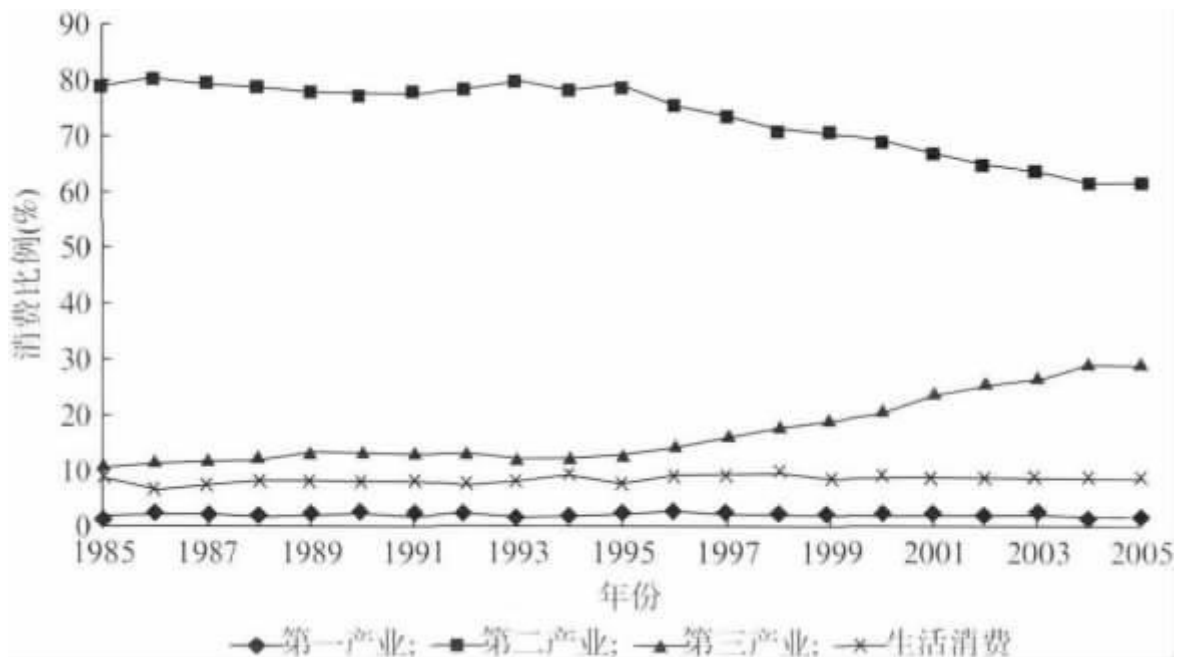


图3 1985~2005上海终端能源消费产业结构变化趋势

根据2006年数据统计,上海市能源终端能源消费的CO₂排放总量为142.39Mt. 由图4可见,主要的CO₂排放能源品种为电力、燃料油、原煤和焦炭,占到总排放量的57%,电力消费的排放量最高为33.18Mt, 占总量的20%;其次分别为燃料油24.16Mt、原煤20.77Mt以及焦炭18.80Mt.

2.2.1 1995~2006年CO₂排放总量变化

如图5所示,1995~2006年上海终端能源消费的CO₂排放量持续递增,1995年终端能源消费的CO₂排放量为78.48Mt,11年内增长了81%,平均每年增加5.81Mt,年平均增长率为6%;整体趋势表现为,1995~2002年缓慢上升,2003年以后显著递增,其中2003年同比上年的增长率最高为13%,2003~2006年平均每年增加11.65Mt,年平均增长率为9%;另一方面,万元GDP的二氧化碳排放量自1995年以来持续下降,从1995年的3.14t/104元递减到2006年的1.37t/104元,减少了56%,年平均递减率为7%.

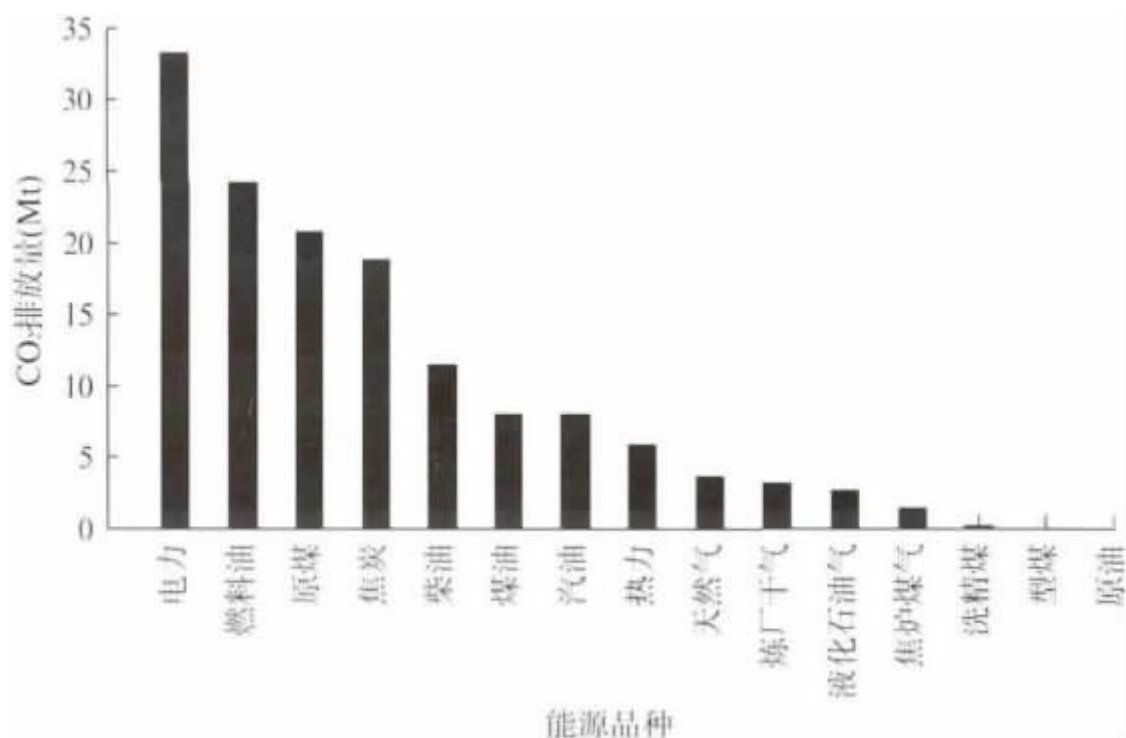


图4 2006年上海主要能源品种的终端能源消费CO₂排放量

通过CO₂排放弹性系数进一步分析上海经济增长和CO₂排放量增长的关系,如图6所示,1996~2006年CO₂排放弹性系数始终小于1,经济增长速度始终大于CO₂排放量的增长;然而,CO₂排放弹性系数增长趋势显著,1996CO₂排放的弹性系数仅为0.08,2006为0.62,10年内增长了6.8倍,平均年增长率70%;尤其是2003年以来,CO₂排放量的增长速度和上海经济发展速度逐渐趋同,其中2004年CO₂排放弹性系数出现最高值为0.89,CO₂排放量的增长速度和GDP增长率仅相差一个百分点。

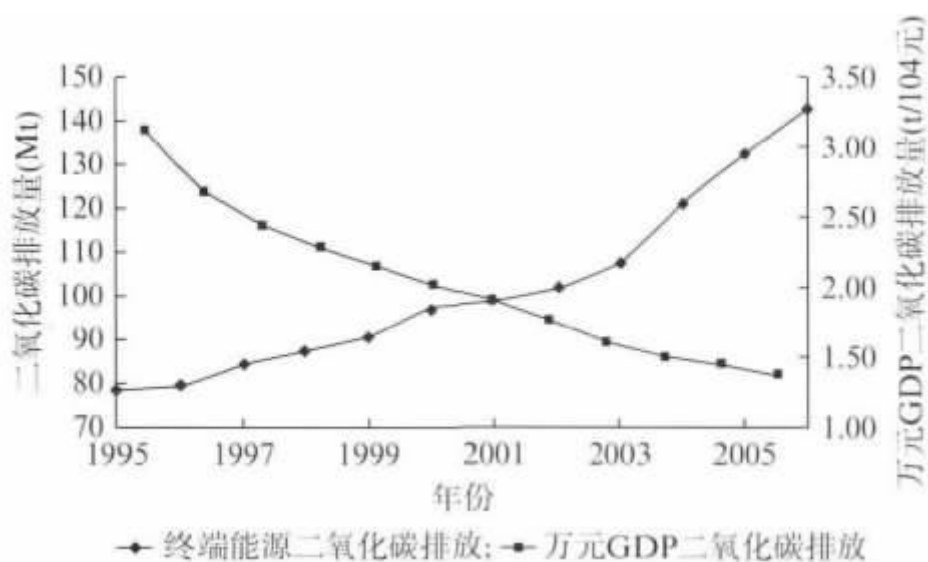


图5 1995~2006年上海终端能源CO₂排放总量和万元GDP排放变化

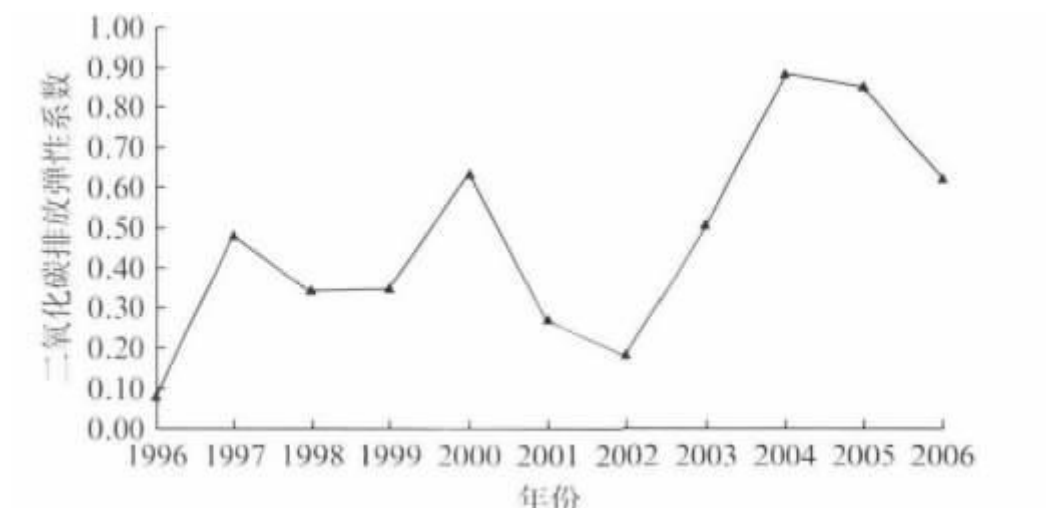


图6 1996~2006年上海市终端能源消费CO2排放弹性系数变化

2.2.2 1995~2006年CO2

排放结构变化

(1) 不同能源类型的CO2排放结构变化

分别计算1995~2006年CO2排放终端能源结构变化系数. 结果显示, 1995~2006年上海CO2排放终端能源结构变化系数逐年增加, 终端能源的CO2排放趋向多元化结构, 从1995年的结构变化系数为1.82, 增长到2006年的3.45, 11年内增加了近1倍.

根据上海各终端能源品种的净发热量和CO2排放因子, 分别得到固体燃料、液体燃料、天然气和其他能源的CO2排放量比例(图7).

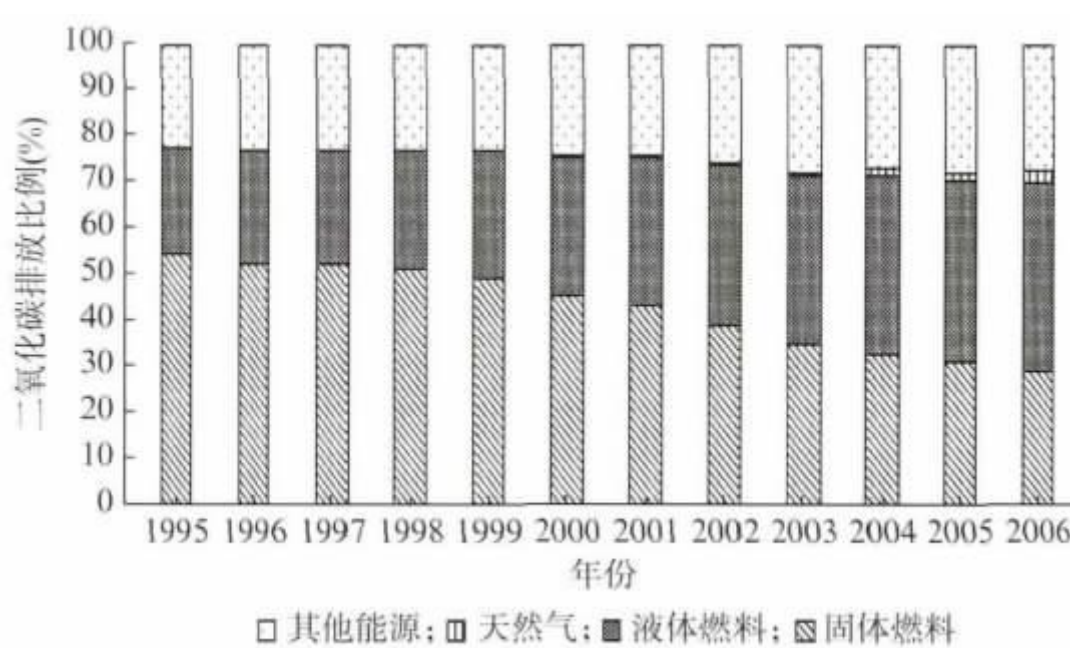


图7 1995~2006年上海市不同终端能源类型CO2排放结构

如图7所示, 1995~2006年上海不同能源类型的结构变化总体趋势表现为固体燃料的比重减少, 液体燃料的增加, 天然气比重较低, 以及其他能源的小幅上升; 固体燃料由1995 年占总排放量的55%, 降至2006年的29%, 11年内比值共减少26%, 平均每年减少2个百分点, 其中原煤(10%)和焦炭(13%)的减少占总递减量的96%; 液体燃料由1995 年的23%递增到2006年的41%, 11年内共增加18%, 增长速度和固体燃料的降低速度持平, 平均每年增长2个百分点, 其中燃料油增幅最大, 11年内比值增加了7%, 其次分别为煤油(4%)、汽油(3%)和柴油(3%); 其他能源1995~2006年共增长了5个百分点, 其中热力的变化不大, 基本维持在4%~5%之间, 电力消费排放比值增长了6%; 天然气比重自2002大于1%, 2006年占总量的3%, 11年内增加了3个百分点。

(2) 不同产业部门的CO2排放结构变化

根据1995~2006年上海终端能源消费平衡表, 分别计算农、林、牧、渔、水利业、工业、建筑业、交通运输、仓储和邮政业、批发、零售业和住宿、餐饮业以及生活消费等各产业部门各自的CO2排放量(表2)。结果表明, 1995~2006年各部门的CO2排放量的变化差异较大, 其中交通运输、仓储和邮政业、批发、零售业和住宿、餐饮业以及建筑业增长幅度较高, 11年内分别增加了4.62、4.29和3.47倍, 年平均增长率为17.14%、17.25%和15.74%; 生活消费增幅较小, 年平均增长率为6.07%; 农、林、牧、渔、水利业和工业变化不大, 年平均增长率仅为2.70%和2.42%。

表 2 1995~2006 年上海市各部门终端能源消费 CO₂ 排放量

Tab. 2 CO₂ emission of final energy consumption by different sectors in Shanghai during 1995—2006 (Mt)

年份(年)	农、林、牧、渔、水利业	工业	建筑业	交通运输、仓储和邮政业	批发、零售业和住宿、餐饮业	生活消费	其他
1995	1.22	61.27	0.67	6.11	1.09	5.95	2.18
1996	1.74	58.65	0.99	7.69	0.98	5.39	3.88
1997	1.64	61.43	1.17	8.79	1.07	7.16	2.87
1998	1.69	62.14	1.36	9.76	1.30	7.23	3.63
1999	1.83	64.29	1.46	10.91	1.52	6.44	3.78
2000	1.94	66.94	1.73	12.60	1.84	6.57	4.90
2001	2.27	66.77	2.15	14.35	2.46	6.39	4.82
2002	2.21	64.45	3.05	16.76	2.66	6.69	5.33
2003	2.18	67.55	2.87	19.62	2.88	7.03	5.30
2004	2.12	70.15	3.08	25.87	4.56	8.44	6.75
2005	1.88	77.00	2.91	29.31	5.16	9.17	7.05
2006	1.44	79.11	3.00	34.35	5.64	10.59	8.26

1995~2006年各产业部门的CO2排放结构变化主要表现为由工业主导性排放结构逐渐向多产业部门排放格局的转化。其中, 工业部门的排放量比例由1995年的78%, 降至2006年的56%; 交通运输、仓储和邮政业的排放量比例增幅显著, 11年内比例增加了16个百分点, 其次分别为批发、零售业和住宿、餐饮业(增加3%)、建筑业(增加1%); 生活消费比例基本维持在7%的水平; 农、林、牧、渔、水利业的比例减少了1%。

2.3 上海市能源消费过程对局地气候变化的胁迫

2.3.1 能源消费及其CO2

排放相关指标和局地气候变化的相关性分析

基于上文对1985~2005年上海能源消费及1995~2006年终端能源消费的CO₂估算分析,选取能源消费总量、电力消费总量、工业能源消费量以及终端能源消费的CO₂排放量,分析与上海局地温度变化和湿度变化等相关气候指标的相关系数。如表3所示,上海市能源消费指标和温度变化指标的相关系数均通过P=0.01水平的显著性检验,其中和城郊温差的相关系数最高,均大于0.9,且通过P=0.001水平的显著性检验,由此可见,上海能源消费所带来的温室气体排放对城市热岛效应存在极显著的影响;其中,工业能源消费总量和城郊温差的相关系数略高于能源消费总量和电力消费,表明1985~2005年整个期间上海工业能源消费是导致城郊温差的主要因素,其原因主要由于上海的能源消费结构是以工业为主导,能源消费过程带来的温室气体排放主要是来自工业部门,然而需要指出的是,根据上文1995~2006年不同产业部门的CO₂排放分析,自1995年以来,由于上海城市建设步伐迅速加快,第三产业的加速发展,尤其是交通运输业的发展,以及城镇生活水平的提高,从而导致建筑业、交通运输、仓储和邮政业、批发、零售业、住宿、餐饮业以及生活消费部门能源消费需求的迅速增长,由此带来的CO₂排放量增加是上海进入高速城市化期间以来,城区增温和热岛效应的主要原因。

表 3 上海市能源消费和温室气体排放指标与局地气候变化指标的相关系数
Tab. 3 The correlation coefficient between energy consumption and CO₂ emission indexes and local climate change indexes in Shanghai

城市局地气候	气候指标	能源消费指标			温室气体排放指标 终端能源消费 CO ₂ 排放
		能源消费总量	工业能源消费总量	电力消费	
温度变化	城区年平均温度	0.81 ***	0.82 ***	0.79 ***	0.70 *
	郊区年平均温度	0.58 **	0.57 **	0.55 **	0.51
	城郊温差	0.92 ***	0.94 ***	0.91 ***	0.76 **

注: 1. “***” “**” “*” 分别表示该相关系数在 5%、1% 和 0.1% 水平上显著; 2. 能源消费指标样本数据为 21 个; 终端能源消费 CO₂ 排放指标样本数据为 12 个。

同能源消费指标一样,上海市终端能源CO₂排放总量和温度变化的相关性要高于湿度变化,其中和城郊温差的相关系数最高为0.76,且通过P=0.01水平的显著性检验,进一步证实了上海市能源消费过程中产生的CO₂排放是导致热岛效应的主要原因;由于终端能源CO₂排放量的样本数据较少,因此相关系数低于能源消费指标。

2.3.2 能源消费对局地气候变化的胁迫模型

基于上文各指标间相关系数的分析,选取相关系数较高的指标,进一步分析上海市能源消费对局地气候变化的胁迫关系模型。相关系数分析表明,工业能源消费对城郊温差的影响最高,考虑到样本数据的完整性,结合《上海市国民经济和社会发展历史统计资料1949~2000》[25]和《上海统计年鉴》[20]中上海工业能源终端消费量统计数据,以1978~2005年上海工业能源终端消费量为自变量,城郊温差为应变量,分析上海市能源消费对城郊温差的胁迫模型,回归分析表明两者的拟合方程为:

$$y = -130.31x^3 + 123.93x^2 - 32.885x + 3.0279, R^2 = 0.91. \quad (4)$$

如图8(见第446页)所示,上海市工业能源终端消费量的增加和城郊温差之间的关系符合三次多项式曲线增长。具体来说,1978~1989年,在工业能源终端消费 2.3×10^9 kg标准煤之前,城郊温差的变化不大,基本维持在0.4℃;进入90年代以来,一直保持接近线性的关系,能源消费的增加对城郊温差的胁迫效应显著;2003年以来曲线增长开始平缓。

(1)根据王祥荣等^[28]对上海城市化阶段的辨识,改革开放以来上海进入快速城市化阶段,其中,1978~1993年为城市化加速发展阶段,1994~2006年为城市化高速发展阶段.而上海进入快速城市化阶段以来,能源消费总量显著增长,城市化高速发展阶段能源消费增长要显著高于加速发展阶段;能源消费结构以化石能源为主,其中石油、天然气所占比重不断增加.另外,第一产业能源消费不断下降,第三产业能源消费不断上升,也反映出第三产业对上海市经济增长的贡献不断增加.

(2)1995~2006年上海终端能源消费的CO₂排放量持续递增,年平均增长率为6%,尤其是2003年以后显著递增.另一方面,万元GDP的CO₂排放量自1995年以来持续下降.但是,对CO₂排放弹性系数的分析结果表明,上海市经济增长与碳排放呈一定的正相关性,这对于上海市保持高速增长的同时响应全球减排号召是个巨大的挑战.从CO₂排放终端能源结构角度来说,上海市终端能源的CO₂排放趋向多元化结构,各产业部门的CO₂排放结构变化主要表现为由工业主导性排放逐渐向多产业部门排放格局的转化,其中交通运输、仓储和邮政业、批发零售业和住宿、餐饮业以及建筑业增长幅度较高.

(3)能源消费指标和温度变化指标的相关性分析结果表明,上海能源消费带来的温室气体排放对城市热岛效应存在极显著的影响;能源消费各指标中工业能源消费总量和城郊温差的相关系数略高于能源消费总量和电力消费;工业能源消费的增加对城郊温差的胁迫关系符合三次多项式曲线增长;1995年以来第三产业的快速发展以及由此带来的CO₂排放量的增加是上海市城区温度上升和热岛效应的主要原因.

(4)在全球气候变化加剧和城市化快速推进的背景下,上海作为我国经济发展的重要中心、对外贸易合作的窗口,应通过技术创新,从能源消费、产业结构、城市空间以及生活方式等方面,积极探索以低能耗、高利用率为原则的产业发展道路和低碳生态城市建设,从而提高上海市应对气候变化的能力.

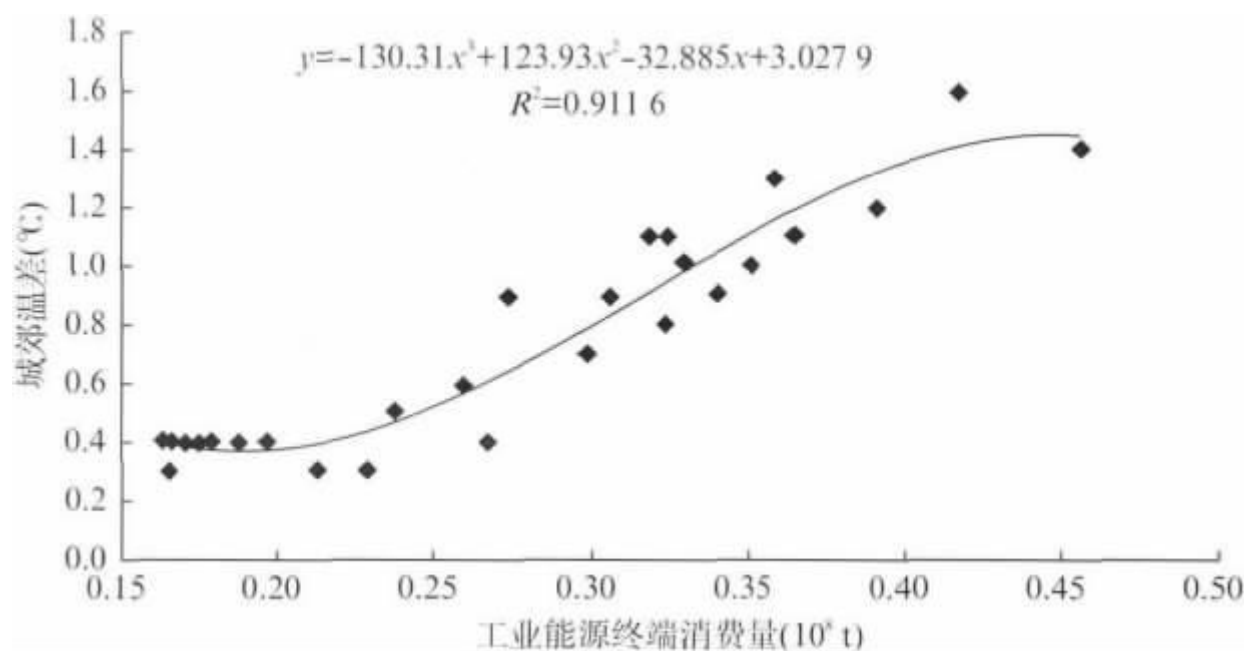


图8 1978~2005年上海市工业能源终端消费量和城郊温差的关系

参考文献:

- [1] 王绍武, 龚道溢. 对气候变暖问题争议的分析[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 153-160.

-
- [2] 王绍武,叶谨林. 近百年全球气候变暖的分析[J]. 大气科学, 1995, 19(5):545-553.
- [3] IPCC. Climate change 2013:The Physical Science Basis:Contribution of working groups I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate[R]. Cambridge, UK:Cambridge University Press, 2013.
- [4] IPCC. Climate change 2007:The Physical Basis Science. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. In:Solomon S, Qin D, Manning M, et al. (eds). Cambridge, United Kingdom and New York, USA:Cambridge University Press, 2007:996.
- [5] IPCC. Climate change 1990:The IPCC scientific assessment[R]. Cambridge, UK:Cambridge University Press, 1990;IPCC. The regional impacts of climate change:An assessment of vulnerability[R]. Cambridge, UK:Cambridge University Press, 1996.
- [6] IPCC. Climate change 2001:Synthesis report.a contribution of working groups I, II, and III to the third assessment report of the intergovernmental Panel on climate change[R]. Cambridge, UK:Cambridge University Press, 2001.
- [7] IPCC. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. Japan:Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [8] IPCC. Climate change 2007:Synthesis report. Contribution of working groups I, II, and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[R]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007.
- [9] 舒娱琴. 中国能源消费碳排放的时空特征[J]. 生态学报, 2012, 32(16):4950-4960.
- [10] Johan A, Delphine F, Koen S. A Shapley decomposition of carbon emissions without residuals[J]. Energy Policy, 2002, 9(30):727-736.
- [11] Geng Y H, Tian M Z, Zhu Q A, et al. Quantification of provincial-level carbon emissions from energy consumption in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15(8):3658-3668.
- [12] 赵 敏, 张卫国, 俞立中. 上海市能源消费碳排放分析[J]. 环境科学研究, 2009, 22(8):984-989.
- [13] 刘春兰, 陈操操, 陈 群, 等. 1997年至2007年北京市二氧化碳排放变化机理研究[J]. 资源科学, 2010, 32(2):235-241.
- [14] 张秀梅, 李升峰, 黄贤金, 等. 江苏省1996年至2007年碳排放效应及时空格局分析[J]. 资源科学, 2010, 32(4):768-775.
- [15] 翟石艳, 王 铮, 马晓哲, 等. 区域碳排放量的计算——以广东省为例[J]. 应用生态学报, 2011, 22(6):1543-1551.
- [16] 李艳梅, 张 雷, 程晓凌. 中国碳排放变化的因素分解与减排途径分析[J]. 资源科学, 2010, 32(2):218-222.
- [17] 岳 超, 胡雪洋, 贺灿飞, 等. 1995~2007年我国省区碳排放及碳强度的分析——碳排放与社会发展III[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2010, 46(4):510-516.

-
- [18] 徐国泉, 刘则渊, 姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995~2004[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(6):158-161.
- [19] 上海市气候中心. 分析和预测上海市气候变化趋势支持应对气候变化相关行动[R]. 上海:世界自然基金会, 2010.
- [20] 上海市统计局. 2007年上海统计年鉴[M]. 上海:中国统计出版社, 2007.
- [21] 上海市发展和改革委员会. 上海能源白皮书[R]. 上海:上海市发展和改革委员会, 2007.
- [22] 国家统计局工业交通统计司. 中国能源统计年鉴(1995—2006) [M]. 北京:中国统计出版社, 1995-2006.
- [23] 张 雷. 经济发展对碳排放的影响[J]. 地理学报, 2003, 58(4):629-637.
- [24] 刘卫星. 可持续发展的上海能源战略研究[D]. 上海:上海大学, 2008.
- [25] 上海市统计局. 上海市国民经济和社会发展历史统计资料(1949—2000) [M]. 北京:中国统计出版社, 2001.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 王祥荣, 王 原. 全球气候变化与河口城市脆弱性评价——以上海为例[M]. 北京:科学出版社, 2010:98-99.
- [29] 方创琳, 鲍 超, 乔 标, 等. 城市化过程与生态环境效应[M]. 北京:科学出版社, 2008.