

中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析*

□林伯强 蒋竺均

摘要 :中国二氧化碳排放的拐点对二氧化碳排放的认识和中国对二氧化碳排放的承诺十分重要。迄今国内还没有对中国二氧化碳排放拐点和预测的研究。本文利用传统的环境库兹涅茨模型模拟与在二氧化碳排放预测的基础上预测两种方法,对中国的二氧化碳库兹涅茨曲线做了对比研究和预测,发现结果存在较大差异。采用对数平均迪式分解法(LMDI)和STIRPA模型,分析了影响中国人均二氧化碳排放的主要因素,解析差异原因。本文的主要结论是:(1)中国二氧化碳库兹涅茨曲线的理论拐点对应的人均收入是37170元,即2020年左右。但实证预测表明,拐点到2040年还没有出现;(2)除了人均收入外,能源强度、产业结构和能源消费结构都对二氧化碳排放有显著影响,特别是能源强度中的工业能源强度。

关键词 :二氧化碳 环境库兹涅茨曲线 能源强度

一、前言

由人类温室气体排放增加引起的气候变化不仅导致气温上升,还对全球的降水量产生影响。气候变化已成为不争的事实,对人类生存、社会、经济和环境的可持续发展构成了严重威胁。2006年,英国斯特恩发表《气候变化经济学报告》。报告指出:如果人类按照目前的模式继续发展,到21世纪末,全球温度可能会升高 $2^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ 以上。这将造成全球GDP下降5%~10%,而贫穷国家则会超过10%。

2007年,政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布第四次评估报告《气候变化2007:自然科学基础》的决策者摘要。报告显示,大气中的二氧化碳浓度已从工业革命前的280ppm上升到2005年的379ppm。近百年来,全球平均地表温升 0.74°C ,全球海平面上升约0.17m,过去50年升温率几乎是过去100年的2倍。预测未来100年全球地表平均增温 $1.8^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$,海平面平均上升0.18~0.59m。在未来20年中,即使所有温室气体和气溶胶浓度稳定在2000年的水平,每10年也将增温 0.1°C 。全球变暖将导致气候灾难更频繁、更猛烈,“未来水世界”的场景和干旱缺水的困局会同时出现。如果气温上升 1.5°C 以上,全球20%~30%的物种将面临灭绝;如果上升 3.5°C 以上,40%~70%的物种将面临灭绝。报告还把近50年气候变暖主要由人为活动引起的可能性,从第三次评估报告中的66%提高到90%以上,其中二氧化碳的增加主要是人类使用化石燃料所致,人类活动“很可能”是导致气候变暖的主要原因。

在全球气候变化下,近几年中国极端气候事件发生频率和强度明显增加。如川渝历史罕见的高温伏旱和强暴雨、北方肆虐的沙尘暴以及2008年的雪灾。根据《气候变化国家评估报告》的预测:到2020年,中国气温可能增加 $1.3^{\circ}\text{C}\sim 2.1^{\circ}\text{C}$,极端天气气候事件呈上升趋势。但同时,中国的二氧化碳排放却仍呈快速增长之势。根据荷兰环境评估局(MNP)的评估报告,2006年中国的二氧化碳排放达到62亿吨,超过美国,成为第一排放国;2007年为67.2亿吨,占世界总排放的24.3%,增量占世界总增加量的近60%。

中国的二氧化碳排放正在并将持续快速增长。这是因为:未来较长时期内,能源的阶段性刚性需求说明只要中国经济持续增长,能源消费将继续扩大,煤炭的资源优势和价格优势使中国仍将保持以煤为主的能源消费结构。2007年,中国煤炭消费在一次能源消费中的比例已经从

* 本文受到长江学者科研配套经费和国家社科基金(08BJL050)的支持。

2002年的66.3%上升到69.5%，但以煤炭为主的能源消费结构会导致严重的环境污染。以发电为例^①，单位发电燃烧煤炭产生的二氧化碳是石油的1.3倍，而且二氧化碳目前还没有成熟的减排技术。

为了应对全球气候变暖，《京都议定书》规定，到2010年，所有发达国家温室气体的排放量，比1990年减少5.2%。虽然中国作为发展中国家，暂不需要承担减排任务；但中国作为一个大国，将为二氧化碳减排做出贡献。因此，在全球实施二氧化碳减排的同时，中国必将面临由于二氧化碳减排所形成的国际环境约束。因此在中国经济增长的过程中，二氧化碳排放的拐点何时到来，是否能利用和如何利用政策来影响拐点都是值得关注的。

在本文第二部分，首先回顾有关二氧化碳排放与经济增长关系的现有研究；第三部分给出人均二氧化碳排放和人均收入的简单二氧化碳库兹涅茨曲线，计算出中国二氧化碳排放的理论拐点；第四部分实证预测了中国的二氧化碳库兹涅茨曲线，说明理论拐点可能不存在；第五部分对中国人均二氧化碳的影响因素进行分解，并解析为什么理论拐点不存在；第六部分是结论和政策建议。

二、文献综述

对环境污染与经济增长之间关系的讨论多采用环境库兹涅茨曲线，这也是分析二氧化碳排放与经济增长关系的主要方法。环境库兹涅茨曲线是美国经济学家G.Grossman和A.Kureger(1991)提出的，他们发现经济增长和环境污染之间呈倒U型的关系，即环境质量随着经济增长的积累呈先恶化后改善的趋势。继G.Grossman和A.Kureger之后，出现了大量关于环境污染与经济增长的研究，但多数集中于对二氧化硫、氮氧化物等的研究(Shafik and Bandyopadhyay, 1992; Selden and Song, 1994; Dasgupta et al., 2002 等等)。而选择二氧化碳作为环境指标的研究相对较少，结果差异也较大。Shafik等(1994)、Martin Wagner(2008)研究得出人均二氧化碳排放与人均收入呈单调递增的关系，并且不存在拐点。Holtz-Eakin, Selden(1995)、Panayotou和Sachs等(1999)、Galeotti(2006)等研究发现人均二氧化碳排放与人均收入呈倒U型。但得出的拐点处所对应的人均收入相差很大，低至Galeotti和Lanza(1999)得出的13260美元，中到Cole(1997)估计的25100美元，高达Holtz-Eakin, Selden(1995)计算的

35428~80000美元之间。Moomaw和Unruh(1997)、Friedl和Getzner(2003)、Martinez-Zarzoso等(2004)却发现两者呈N型。Lantz和Feng(2006)发现人均GDP和二氧化碳排放量不相关。

国内学者对二氧化碳排放与经济增长的研究比较有限。陆虹(2000)建立了人均二氧化碳和人均GDP之间的状态空间模型，发现二者不是简单呈现为倒U型关系。韩玉军、陆旸(2007)对不同国家分组后的研究表明，不同组别国家的二氧化碳库兹涅茨曲线差异很大，分别呈现出倒U、线性等关系。蔡昉等(2008)通过拟合EKC、估计排放水平从升到降的拐点，考察了中国内在于的节能减排要求。他们认为：如果温室气体的减排被动等待库兹涅茨拐点的到来，将无法应对日益增加的环境压力。

国内在二氧化碳排放与经济增长关系研究的文献中，主要的不足是：仅有的二氧化碳库兹涅茨曲线研究，只限于简单地检验二氧化碳排放与人均收入的关系，未考虑其他经济因素与排放之间的关系，也没有估计出中国二氧化碳排放的拐点。而且缺乏对经济持续高速增长、城市化加快和其间的工业化特征，这一现在及今后相当一段时期内中国经济社会发展的最重要特点的充分认识，由此也忽略了对这段经济发展过程中的二氧化碳排放的预测。

环境库兹涅茨曲线描述的是发达国家经济增长和环境污染之间的倒U型的关系，即发达国家通过自觉或不自觉的调整经济结构及能源消费结构，用较快的速度实现了倒U型路径，整体环境质量随着经济增长的积累呈先恶化后改善的趋势。需要注意的是：环境倒U型曲线只是揭示了发达国家经济增长与环境之间的一种基本转化规律。那么对于作为发展中国家的中国而言，二氧化碳排放与经济增长是什么关系？已有研究中，二氧化碳库兹涅茨曲线的形状和拐点对应的人均收入差异较大，需要进一步研究说明。

本文将在前人研究的基础上，对中国二氧化碳排放作进一步的研究。首先，根据以往的研究方法，计算出中国二氧化碳排放的理论拐点相对应的人均收入。其次，对中国二氧化碳中长期排放进行实证预测，以此来验证中国二氧化碳库兹涅茨曲线的理论拐点，比较两种方法得出的曲线。最后，采用LMDI分解法，对中国二氧化碳排放的影响因素完全分解，试图解释两种方法得出的中国二氧化碳库兹涅茨曲线存在差异，以及理论拐点可能不存在的原因。

三、二氧化碳的环境库兹涅茨曲线

首先考虑中国的二氧化碳排放是否存在拐点。本文将采用二氧化碳的环境库兹涅茨模型分析,简称为二氧化碳库兹涅茨模型。简单的二氧化碳库兹涅茨曲线描述了人均二氧化碳排放和人均收入的关系。我们选择 Shafik 和 Bandyopadhyay (1992) 使用的人均收入作为解释变量的二次方程形式,并采用对数形式。本文选择的样本区间是 1960~2007 年。中国人均二氧化碳的数据来自世界银行的 WDI, GDP 和人口的数据来自历年《中国统计年鉴》,实际人均 GDP 以 2000 年不变价表示。

模型的表达式为:

$$LPCO_2 = \alpha + \beta_1 LPY + \beta_2 L^2 PY \quad (1)$$

其中 PCO_2 表示人均二氧化碳的排放量; PY 表示人均 GDP; PY^2 表示人均 GDP 的平方。分别对各变量取对数,分别记为 $LPCO_2, LPY$ 。

模型结果为:

$$LPCO_2 = -26.3826 + 5.4704 LPY - 0.2599 (LPY)^2 \quad (2)$$

(-2.21) (4.74) (-3.56)

根据方程(2)的结果可以看出,人均收入的一次项系数为正,二次项系数为负。说明中国的二氧化碳库兹涅茨曲线存在拐点,具有倒 U 型曲线特征,符合环境库兹涅茨曲线假说。计算中国的二氧化碳库兹涅茨曲线拐点 ξ , 公式为:

$$\xi = \exp(-\beta_1 / 2 \times \beta_2) = \exp(-5.4704 / 2 \times (-0.2599)) = 37170 \quad (3)$$

式(3)和图1表明:当中国的人均收入小于 37170 元时,人均二氧化碳的排放随着人均收入的增加而增加;当人均收入大于 37170 元时,人均二氧化碳的排放随着人均收入的增加而降低;在 37170 元处达到人均二氧化碳排放的最大值,是中国二氧化碳排放的理论拐点。

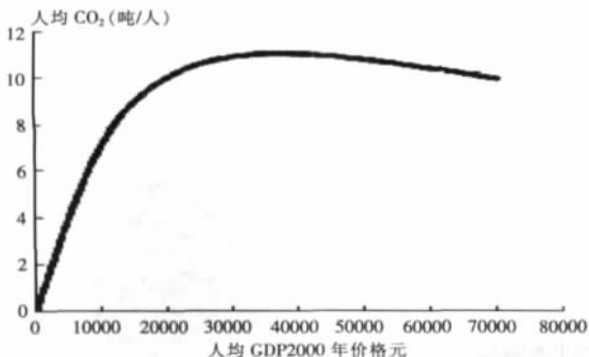


图1 中国二氧化碳的库兹涅茨曲线

2007年,中国的人均收入为 14685 元(2000 年不变价)。根据我们的估计,在 2020 年左右,中国的人均收入将达到 37170 元。也就是说,中国的二氧化碳排放将在 2020 年左右经过拐点,之后随着人均收入的增加而排放减少。这是一个很重要的结论,关系到中国对二氧化碳排放的认识和承诺。

但是,林伯强等(2008)认为中国的城市化、工业化进程大致将在 2020 年才会基本结束。2020 年之前,中国经济将保持高速增长,城市化进程的加快,能源消费的刚性扩张,对煤炭资源的高度依赖,都将导致二氧化碳排放的持续增长。2020 年之后,尽管中国经济的增长速度会减弱,但能源需求增长还将持续,还将保持以煤为主的能源消费结构。也就是说,甚至是 2020 年以后,中国的二氧化碳排放可能持续增长。因此,为了进一步验证历史数据模拟得到的人均收入 37170 元为拐点这个结论,我们认为有必要从能源需求角度来分析中国二氧化碳的库兹涅茨曲线。

四、预测二氧化碳的环境库兹涅茨曲线

二氧化碳排放主要来自于化石燃料的燃烧,而中国以煤为主的能源消费结构决定了中国化石燃料燃烧产生的二氧化碳大部分来自于煤炭燃烧。截至 2007 年,除了个别年份受经济影响,能源消费下降,导致二氧化碳排放的非正常减少以外,中国的二氧化碳排放都呈上升趋势,没有出现过拐点。因此,要验证拐点在 2020 年左右出现的结论,就需要预测中国的二氧化碳排放。首先需要预测出中国的一次能源需求和能源消费结构。

(一)中国的一次能源需求预测

林伯强等(2008)采用协整方法估算了中国一次能源需求的长期均衡关系。首先建立一次能源需求的协整模型。模型的表达式为:

$$LQ = c + \beta_1 LY + \beta_2 LM + \beta_3 LC + \beta_4 LEF + \beta_5 P \quad (4)$$

其中: Q 表示一次能源消费量; Y 表示 GDP; M 代表产业结构,用重工业增加值占 GDP 的比例表示; C 代表城市化水平,用城镇人口占总人口的比例表示; EF 代表能源效率,用工业生产的增加值/工业的能源消费量表示; P 表示煤炭价格指数的增长率。模型中用对数形式表示。

Johansen 协整检验表明中国的一次能源需求存在协整关系。模型的结果为:

$$LQ=0.009trend+0.738LY+0.469LM+0.769LC-0.976LEF+0.008P \quad (5)$$

根据式(5),以及对各变量的假设,我们可以预测中国的一次能源需求。

GDP增长率的假设:《中国经济崛起对中国食物和能源安全及世界经济影响的预测》称中国未来20年经济还将保持快速增长,GDP年均增长率在近5年将保持在8%左右,2010~2015年在7%~8%,2016~2020年在6%~7%。据此报告,我们对GDP的年均增长率分较低、中等和较高3种情景。以较低情景为例:2007~2010年为8%,2011~2015年为7%,2016~2020年为6%,2021~2030年为5%,2031~2040年为4%。中等和较高情形对应年依次高1%。

重工业在GDP中比例的假设:根据中国宏观经济形势报告,第二产业在GDP中的比重在2010、2020、2030和2040年分别为51.5%、50%、48%和45%。样本区间内工业在第二产业所占的比重均值为88.6%,以此推算工业在GDP中的比重。并假定重工业在工业中的比例逐渐下降。

城市化水平的假设:根据国家统计局和人口专家预测:到2010年,城镇人口比例为48%,2020年达到60%,2030年末达到65%,2040年末为70%。

能源效率的假设:根据历史变化,2007~2010年单位工业能耗产生的工业增加值年均增长率为3%,2011~2015年为2.5%,2016~2020年为2%,以后每10年降低0.5个百分点。

能源价格受经济、社会、政治、天气等很多不可预期因素的影响,同时中国能源价格还受到政府的管制,可预测性较差。协整结果也表明能源价格对能源需求的影响微乎其微并出现扭曲效应,因此预测中暂不考虑能源价格的变动。

根据上述各变量的设定,预测出中国一次能源需求,结果见表1。

(二)中国能源消费结构预测

林伯强等(2008)采用马尔科夫概率分析法建立随机时序模型,预测中国一次能源消费结构的动态变化。以2007年为基准年,以能源消费结构为对

表1 一次能源需求预测
(亿吨标准煤)

	较低	中等	较高
2010	31.08	31.74	32.40
2015	38.17	40.35	42.66
2020	45.35	49.67	54.41
2030	57.15	67.74	79.12
2040	68.58	87.36	109.62

象的马尔科夫基本模型的表达式为:

$$S(2007+k)=S(2007) \times P^k \quad (6)$$

其中:S代表各时期各类能源占的能源消费份

额,P为平均一步转移概率矩阵。

根据对一次能源消费结构历史数据的观察和能源发展规划方向,我们假定:包括水电、火电、生物质能及核电等的可再生能源向煤炭或油气能源的转移概率为0,而保留概率为1。煤炭、石油和天然气之间都存在相互转移份额的可能性。

能源政策是影响能源消费结构的一个重要因素,因此我们对能源消费结构的预测分2种情形:(1)无能源规划目标的约束,即在自发状态下,根据历史数据预测的消费结构;(2)有能源规划目标的约束,即根据国家发改委公布的《可再生能源中长期发展规划》,2020年一次能源中核电、风电、水电及其他可再生能源的比例合计大约在16%左右。以国家能源发展目标作为约束条件,建立状态转换概率矩阵以修正预测。其中有个假定为:国家能源政策引导主要针对水电、核电、风电及其他可再生能源制定,可再生能源的份额增加由煤炭份额减少来补充,石油和天然气依然按照固有的转变趋势。

根据假定,利用得到的平均一步状态转移概率矩阵P,预测中国一次能源消费结构,结果见表2。

据此,我们可以预测出煤炭、石油和天然气的的需求,从而可以预测出中国二氧化碳的排放,进一步预测出中国的二氧化碳库兹涅茨曲线。

(三)中国二氧化碳的排放预测

利用一次能源需求和能源消费结构的预测结果,计算出两种能源消费结构、三种经济增长水平下2008~2040年中国二氧化碳的排放^②。

根据二氧化碳的预测结果可以看出:第一,2008~2040年间,中国能源需求的持续增加和以煤为主的消费形式使二氧化碳排放一直呈上升趋势。在能源规划下,2020年经济中速发展下的二氧化碳排放是2007年的1.5倍。第二,高经济伴随着能源的高消费和环境的高污染。在能源规划下,2020年,经济增速较高下的二氧化碳排放比较低时多近20亿吨,2040年差距高达70亿吨。因此,降低经济增长速度,就能减少二氧化碳的排放。第三,不同能源消费结构下的二氧化碳排放量差异巨大,且随着时

表2 一次能源消费结构预测(%)

	无能源规划目标的约束				有能源规划目标的约束			
	煤炭	石油	天然气	水核风电	煤炭	石油	天然气	水核风电
2010	70.17	18.68	3.88	7.27	68.13	18.70	3.87	9.30
2015	71.19	16.53	4.71	7.57	65.96	16.55	4.71	12.78
2020	72.03	14.65	5.47	7.85	63.86	14.67	5.47	16.00
2030	73.28	11.50	6.86	8.36	59.86	11.50	6.85	21.79
2040	74.08	9.13	7.99	8.80	56.11	9.02	8.05	26.82

间的演进两种情形的差距逐渐扩大。即使是在经济低速增长下,2020年有能源规划的排放比没有少9.5亿吨,2040年达到近32亿吨。而且有规划下二氧化碳排放的增长速度小于没有规划下的增长速度。这说明通过调整能源消费结构,减少二氧化碳排放是有效的。即使中国目前还不可能实现总量的降低,但仍可以制定和执行积极的能源政策,减缓二氧化碳排放的增长速度。

根据表3的二氧化碳排放量预测结果,我们还可计算中国人均二氧化碳的排放量。表4说明至少到2020年,中国的人均排放量还远低于发达国家。

(四)预测二氧化碳的环境库兹涅兹曲线

根据预测出的人均二氧化碳排放量以及人均收入(2000年不变价)^④,可以预测出中国的二氧化碳库兹涅兹曲线。

图2描述了中国2000~2040年人均二氧化碳排放与人均收入之间的关系。在两种能源消费结构三种经济增速下,人均二氧化碳排放一直随人均收入的增加而增加。到2040年,中国的二氧化碳库兹涅兹曲线还没有出现倒U型。但通过图2可以看出,虽然6条曲线的趋势相同,都是逐渐上升,但存在着两点差异:第一,较无能源规划的情形,有能源规划下的人均二氧化碳排放较低,曲线的上升的速度更慢,趋势更缓和;第二,经济增长较慢下,较低的人均GDP对应较低的人均二氧化碳排放,上升的趋势也更缓和。这说明在不同的经济增长方式和能源环境政策下,经济增长和二氧化碳排放之间的曲线具有不同的特征。因此通过精心设计并制定执行积极的可持续发展的能源政策,虽然不能改变曲线的趋势,但可以改变曲线的形状。

图2表明中国的二氧化碳库兹涅兹曲线到2040年还没有拐点。是因为2040年中国的人均收

表3 二氧化碳排放量的预测(亿吨)

	无能源规划目标的约束			有能源规划目标的约束			较低下 的差额	中等下 的差额	较高下 的差额
	较低	中等	较高	较低	中等	较高			
2010	75.27	76.68	78.12	73.64	75.02	76.42	1.63	1.66	1.70
2015	89.38	94.08	99.07	84.27	88.68	93.36	5.10	5.40	5.71
2020	102.04	111.37	121.59	92.56	100.98	110.21	9.48	10.39	11.38
2030	128.08	150.95	175.53	108.43	127.67	148.33	19.65	23.29	27.20
2040	150.48	191.03	239.06	118.90	150.81	188.59	31.57	40.22	50.47

表4 人均二氧化碳的排放比较^⑤(吨/人)

	无能源规划目标的约束			有能源规划目标的约束			美国	日本	
	较低	中等	较高	较低	中等	较高			
2010	5.53	5.64	5.74	5.41	5.52	5.62	1975	19.81	7.63
2015	6.37	6.70	7.06	6.00	6.32	6.65	1980	20.36	7.79
2020	7.04	7.68	8.39	6.38	6.96	7.60	1985	18.60	7.53

注:美国和日本的人均二氧化碳排放来自世界银行的WDI。

入还不够高,拐点还没有到来吗?但根据预测,2040年中国的实际人均收入为71829~133562元,远远高于图1达到拐点时所对应的37170元的人均收入水平。也就是说,两种方法得出的结果不一致。为什么理论的和实证预测的中国二氧化碳库兹涅兹曲线会出现两种不同的形状呢?如何解析差别呢?以下将从人均二氧化碳排放影响因素的角度,解释以上的问题。

五、人均二氧化碳排放影响因素分析

上文的分析说明,中国二氧化碳库兹涅兹曲线的理论和预测形状存在较大的差异。我们认为,简单的二氧化碳库兹涅兹模型只考虑了人均收入,而在二氧化碳排放的预测中,还考虑了产业结构、能源结构和能源效率等因素,这可能是两者存在差别的原因。因此,我们需要深入分析二氧化碳排放的影响因素。

(一)人均二氧化碳排放影响因素分析

Kaya恒等式是Yoichi Kaya(1989)在IPCC的研讨会上提出的,通常用于国家层面上的二氧化碳排放量变化的驱动因子分析。表达式如下:

$$CO_2 = POP \times (GDP/POP) \times (E/GDP) \times (CO_2/E) \quad (7)$$

等式(7)可转化为:

$$CO_2/POP = (GDP/POP) \times (E/GDP) \times (CO_2/E) \quad (8)$$

其中, CO_2 、 POP 、 GDP 、 E 和 i 分别代表二氧化碳排放量、国内人口总数、国内生产总值和一次能源消费总量。 E/GDP 、 CO_2/E 分别表示能源强度和能源结构碳强度。

1.基于LMDI分解法分析人均二氧化碳排放影响因素的贡献率

式(8)说明人均二氧化碳可以分解为人均

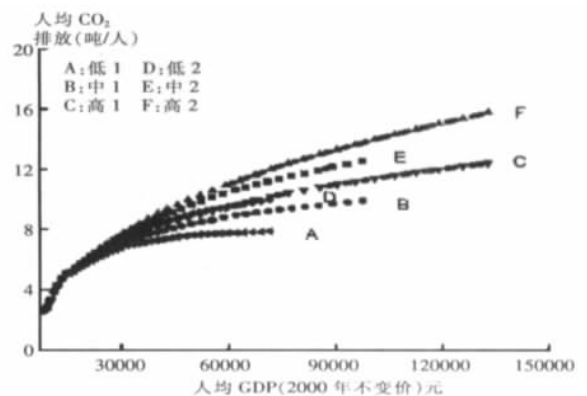


图2 预测的中国二氧化碳库兹涅兹曲线^⑥

注:低、中、高分别表示经济低速、中速、高速的3种增长情景。1代表有能源规划目标的约束的情景;2代表无能源规划目标的约束的情景。

GDP、能源消费强度和能源结构碳强度,那么人均二氧化碳排放的变化可以分解成这3个影响变量的贡献。本文采用 Ang B.W.(2004)提出的对数平均迪式分解法(Logarithmic Mean Divisia Index, LMDI),此分解法可以对所有因素进行无残差分解,结果不包括不能解释的残差项^⑥。

从0年到t年的人均二氧化碳排放的差值称为总效应 ΔPC 。 ΔPC 由3部分组成:人均收入变化产生的收入效应(ΔPC_{PC}),能源强度改变引起的强度效应(ΔPC_I),能源消费结构调整引起的结构效应(ΔPC_S)。LMDI加法分解的表达式为:

$$\Delta PC = \Delta PC_{PC} + \Delta PC_I + \Delta PC_S (\Delta PC = PC_t - PC_0) \quad (9)$$

$$\Delta PC_{PC} = L(PC_t, PC_0) \ln(PG_t / PG_0) \quad (10)$$

$$\Delta PC_I = L(PC_t, PC_0) \ln(I_t / I_0) \quad (11)$$

$$\Delta PC_S = L(PC_t, PC_0) \ln(S_t / S_0) \quad (12)$$

其中, $L(x, y) = (x - y) / (\ln x - \ln y)$ (Ang, 2004, 定义)。 PC 代表人均二氧化碳排放, PG 代表人均收入, I 代表能源强度, S 代表结构强度。能源强度根据GDP(2000年不变价)和能源消费计算。中国的人均二氧化碳排放来自世界银行的WDI,其他数据来自历年《中国统计年鉴》或计算得到。

图3表明:从历史数据看来,人均收入和能源强度(GDP生产结构)对人均二氧化碳排放的变化影响最大,而能源结构碳强度的影响相对较小,这主要是因为随着中国的经济现代化进程,经济结构变化使单位GDP能源消费减少,而以煤为主的能源消费结构却一直没有改变。在2000年以前,能源强度的下降减少了人均二氧化碳排放的增加。但在2001~2005年,高耗能产业的快速发展和能源消费中煤炭消费比例的增加,导致了能源强度和能源结构碳强度的反弹,对人均二氧化碳排放增量的贡献也由负变正。2006年国家实施节能减排政策,能源强度从2005年的1.43吨/万元下降到2007年的1.37吨/万元,对人均二氧化碳排放增量的贡献率降低为-25.8%,这说明政策对二氧化碳排放的减少是有作为的。但在能源消费结构中,煤炭消费比例的持续增加使能源结构碳强度呈快速上升趋势,对人均二氧化碳排放增量的贡献率为11.9%,比2001~2005年的贡献率增长5%,能源结构对降低人均二氧化碳排放增量的负影响在不断增强。因此,在人均收入持续增长的同时,要有效减少人均二氧化碳排放的增量,除了降低能源强度,提高能源效率,还要调整能源消费结构的调整,有效降低煤炭的消费

比例。否则能源强度下降的减排效应将会被能源结构碳强度上升的增排效应抵消。

2. 基于LMDI分解法分析能源强度

上文的分析表明,能源强度对人均二氧化碳排放有显著影响。降低能源强度,能减慢人均二氧化碳排放的增长速度。而且目前中国的能源强度是美国的3.7倍,日本的6.9倍,能源强度降低的空间很大。因此对能源强度影响因素的进一步分析,可以更好地理解能源强度变动的原因,寻求降耗的有效途径。对能源强度的分解为:

$$I = \frac{E}{GDP} = \sum_i \frac{E_i}{GDP_i} / \sum_i \frac{GDP_i}{GDP} = \sum_i \frac{E_i}{GDP_i} * \frac{GDP_i}{GDP} = \sum_i e_i * y_i \quad (13)$$

i 表示三次产业, $i=1,2,3$ 。 e_i 是第*i*产业的能源强度,表示强度效应; y_i 是第*i*产业增加值在国内生产总值中的比例,表示结构效应。同样采用LMDI分解法分解能源强度,能源强度的增量可以表示为:

$$\Delta I = \Delta I_e + \Delta I_y \quad (14)$$

$$= \sum_i L(W_{it}, W_{i0}) \ln(e_{it} / e_{i0}) + \sum_i L(W_{it}, W_{i0}) \ln(y_{it} / y_{i0})$$

其中: ΔI_e 和 ΔI_y 分别表示强度效应和结构效应产生的能源强度的变化。 $W_i = e_i * y_i$, $L(W_{it}, W_{i0})$ 称为对数平均权数, $L(W_{it}, W_{i0}) = (W_{it} - W_{i0}) / (\ln W_{it} - \ln W_{i0})$ 。第二产业中,工业的比重接近90%,是引致第二产业变化的根本原因。为了直接分析工业对能源强度的影响,将第二产业再细分为工业和建筑业。产业结构来自历年《中国统计年鉴》,各产业的GDP(2000年不变价)和能源消费来自中经网统计数据库。分别用 ΔI_{e1} 、 ΔI_{e2} 、 ΔI_{e3} 、 ΔI_{e4} 、 ΔI_{y1} 、 ΔI_{y2} 、 ΔI_{y3} 、 ΔI_{y4} 表示一、二、三次产业以及工业的强度效应和结构效应, ΔI 表示总能源强度的变化。

通过图4可以看出,工业能源强度的影响最大,其次是工业结构和第三产业能源强度的变化。总能源强度和工业能源强度的变化趋势完全一致。2002年之后,重工业在工业中的比重从2002年的

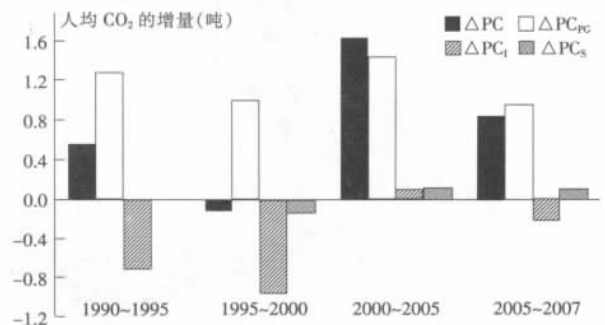


图3 中国人均二氧化碳变化的因素分解

60.9%增长到2007年的70%以上,工业能源强度强力反弹,总能源强度也随之由降变为升。2006年之后,总能源强度又随工业能源强度的下降而下降。工业能源强度对总能源强度决定性的影响,主要是因为工业的能源强度远远高于第一和第三产业,工业的能源强度是第一和第三产业的5倍左右^⑦。目前中国要降低能源强度,关键是提高能源效率,主要是工业的能源效率,降低工业能源强度。而提高能源效率则需要价格的合理引导。

3. 能源结构碳强度与二氧化碳的排放

能源结构碳强度也是人均二氧化碳排放变化的影响因素之一,2002年之后,对人均二氧化碳排放增量的贡献由负变正,贡献率不断增加。为了分析其贡献率增加的原因,将能源结构碳强度表达式转化为:

$$CO_2/E = \sum_i (CO_{2i}/E_i) * (E_i/E) \quad (15)$$

i 表示一次能源的种类,包括煤炭、石油和天然气。 E_i 表示消费的第 i 类一次能源。 CO_{2i}/E_i 表示第 i 类能源的排放系数; E_i/E 表示第 i 类能源消费在总能源消费中的比例,即一次能源消费结构。目前二氧化碳还没有成熟的减排技术,各种能源的排放系数基本不变,因此能源结构的变化决定了能源结构碳强度的变化。而在一次能源消费结构中,煤炭占绝对优势,近几年呈上升趋势,2007年达到69.7%,是结构碳强度变化的主导因素。

根据图5可以看出,能源结构碳强度和煤炭消费在一次能源中的比例走势基本一致。特别是2002年以后,两者几乎完全吻合,煤炭消费比例上升带动能源结构碳强度的反弹上升。前文预测的两种能源消费结构下二氧化碳排放量之间的巨大差异,也证实了降

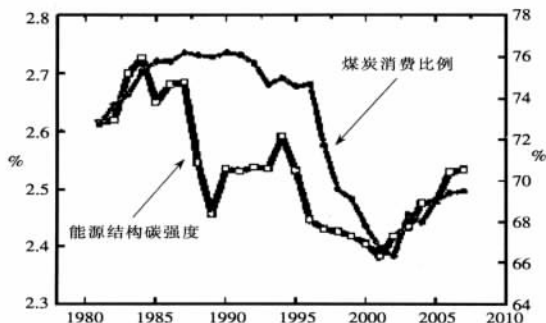


图5 能源结构碳强度和煤炭消费比例趋势

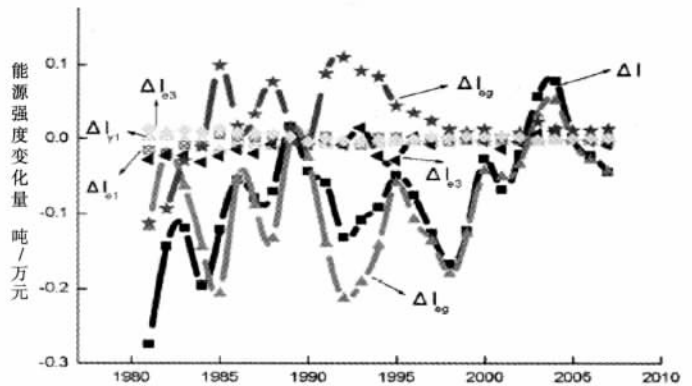


图4 1980-2007年能源强度因素分解

低煤炭消费比例,能明显降低二氧化碳排放的增长速度。由此说明了目前中国环境政策的关键是调整能源消费结构,特别是降低煤炭的比例,就可以降低能源结构碳强度,从而减少二氧化碳的排放。

(二) 中国人均二氧化碳的 STIRPAT 模型

以上的分析表明:人均收入、工业能源强度、工业结构和一次能源消费结构是中国人均二氧化碳排放变化最主要的影响因素。但这些因素的变化具体会怎样影响人均二氧化碳排放的变化呢?本文引入 Dietz 等(1994)提出的人口、富裕和技术的随机回归影响模型(Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology, STIRPAT)进行分析,STIRPAT模型是将IPAT模型[®](Ehrlich和Holden, 1971)转变成一种随机模型,表达式为:

$$I = aP^{b_1}A^{b_2}T^{b_3}e \quad (16)$$

同时对模型两边取对数后,式(16)变为:

$$\ln I_t = a + b_1 \ln P_t + b_2 \ln A_t + b_3 \ln T_t + e_t \quad (17)$$

I 、 P 、 A 、 T 分别表示环境压力、人口数量、富裕度和技术, e 为模型误差。

在 STIRPAT 模型中,未包括工业结构和能源消费结构。但这两个因素也是中国人均二氧化碳排放变化的主要影响因素。因此对模型进行修正,纳入工业结构和能源消费结构,并把总量分析改为人均分析。修正后的模型为:

$$\ln PC_t = a + b_1 \ln PY_t + b_2 \ln I_t + b_3 \ln S_t + b_4 \ln M_t + e_t \quad (18)$$

其中 PC_t 表示人均二氧化碳排放; PY_t 表示人均收入,用人均 GDP 表示; I_t 表示工业能源强度; S_t 表示一次能源消费结构,用煤炭消费在一次能源消费中的比例表示; M_t 表示工业结构,用工业增加值在 GDP 中的比例表示。对数形式记为 LPC_t 、 LPY_t 、 LI_t 、 LS_t 和 LM_t 。本文的样本区间为 1978~2007 年,中国人均二氧化碳来自世界银行的 WDI,其他数据来自历年《中国统计年鉴》或计算得到,人均 GDP 以 2000 年不变价表示。对各变量的对数进行单位根检验,结果表明所有变量序列的水平值都是不平稳的,而

其一阶差分都是平稳的,满足构造协整方程的条件。Johansen 协整检验表明存在着一个唯一的协整关系。

$$LPC=1.004LPY+0.7387LI+0.2642LS+0.5073LM(19) \\ (25.58) \quad (13.02) \quad (2.08) \quad (4.87)$$

括号内为 t 统计量。所有变量的系数符号均符合经济意义,而且都是显著的。其中,人均收入的影响最大,其次是工业能源强度,煤炭结构的影响较小。这主要是因为中国以煤为主的能源消费结构一直都没有改变。各变量的影响大小与前文对人均二氧化碳排放变化因素的分解结果是一致的。

以上对人均二氧化碳排放的因素分解以及修正的 STIRPAT 模型都说明了人均收入、能源强度和能源结构碳强度对人均二氧化碳都有显著影响,而工业能源强度、工业比重、能源消费结构则是能源强度和结构碳强度的决定性因素。因此,利用只包含人均收入的环境库兹涅茨模型进行模拟,得出的结果不一定准确。本文用于预测二氧化碳排放计算基础的一次能源需求,考虑了经济增长、产业结构、城市化水平,所以在多种因素的影响下,预测的中国二氧化碳库兹涅茨曲线到 2040 年没有拐点。国外学者估计的人均二氧化碳排放拐点对应的人均收入为 13260 美元 (Galeotti, Lanza, 1999) 或 35428 美元以上 (Holtz-Eakin, Selden, 1995), 美国二氧化碳库兹涅茨曲线的拐点,出现在人均收入 25000 美元左右。而预测的中国 2040 年的实际人均收入为 71829~133562 元,约 10262~19081 美元,小于国外研究和美国达到拐点时的人均收入。因此,中国到 2040 年二氧化碳排放还没有达到拐点是可能的。

现阶段中国能源强度的下降幅度还不足以抵消由于人均收入的持续增长、产业重工业化凸显、煤炭消费比重居高不下所导致的二氧化碳的增加。而工业化和城市化进程加快可能使这种趋势继续延续。图 1 和图 2 的比较表明:由于能源强度、产业结构等因素的影响,人均收入 37170 元的二氧化碳排放拐点可能不存在。但是,研究结果也说明了,不同情景下曲线的特征不同,为我们提供了积极政策的可能性。虽然不能改变曲线的整体趋势,但可以改变曲线的影响因素。Muainghe (1995) 也指出:如果经济增长实施可持续发展战略以及政府的环境政策得当,可以降低倒 U 型曲线的弧度,在倒 U 型曲线上找到一条近似水平的通道,甚至让拐点提前到来。在不可能降低人均收入的同时,要减缓二氧化碳排放的增长,关键就是降低能源强度,特别是工业能源强度,改变工业结构,同时还需要调整能源结构,减少煤炭消费。

六、主要结论和建议

本文通过对不同情景下中国二氧化碳排放的预测和影响因素的分析,得到如下的主要结论。

第一,如果简单地与人均收入相对应,中国的二氧化碳库兹涅茨曲线在人均收入 37170 元处存在拐点。但是,根据林伯强、蒋竺均等 (2008) 的结果计算出的两种能源消费结构、三种经济增长水平下 2008~2040 年中国二氧化碳的排放,说明人均收入 37170 元这个拐点不存在。人均二氧化碳排放的因素分析和 STIRPAT 模型表明,只有人均收入作为解释变量的库兹涅茨曲线和本文预测模拟的二氧化碳库兹涅茨曲线存在明显差异的主要原因是,除了人均收入,人均二氧化碳排放还受能源消费强度和能源结构碳强度的影响,工业能源强度和煤炭消费比例是两者变动的决定性因素。因此,简单的二氧化碳库兹涅茨模型模拟的理论曲线无法预测描述将来中国的二氧化碳排放状况。

直观地说,只有人均收入作为解释变量的环境库兹涅茨曲线只能用来描述过去的排放状况,不能用来预测将来的排放拐点。因为在今后的某一人均收入点,不同的产业结构和能源结构必然导致不同的排放。

第二,中国中长期的经济增长对能源的高需求和以煤为主能源消费结构,导致二氧化碳排放将持续增长。但是,在不同经济增长和不同能源规划下,不同的能源结构使得二氧化碳排放量差异显著。清洁能源战略的调整和积极的能源环境政策引导,能够明显地改善能源消费结构,降低煤炭的消费比例,降低二氧化碳增量。

2008 年,世界著名自然灾难专家比尔·麦克古尔在其新书《7 年拯救地球》中提出:人类只剩 7 年时间来拯救地球和自己。如果温室气体在这 7 年中无法得到控制,那么地球将在 2015 年进入不可逆转的恶性循环中,人类将遭遇“末日式劫难”。人类可能很快就被迫减排二氧化碳。IEA 在《Energy Technology Perspectives 2008 Scenarios and Strategies to 2050》里提出,回收二氧化碳的巨大成本可能是人类不可承受的。对于还处于城市化、工业化进程中的中国而言,如何降低二氧化碳的排放?这就需要把握未来二氧化

碳的增长趋势,分析减少二氧化碳增长的可能因素。

本文的结果有重要的国内外政策含义。其国内政策含义是,在未来较长时期内,中国的经济仍将以较快速度增长,城市化进程使得工业重化的趋势仍将延续,经济增长与能源环境之间的矛盾将加剧。因此,利用有效的政策去引导经济能源环境的协调发展,将成为社会可持续发展的重要保证。虽然我们不能改变二氧化碳环境库兹涅茨曲线的趋势,但在不同的经济增长方式和能源环境政策下,经济增长和二氧化碳排放之间所呈现的倒U型曲线具有不同的特征。而且二氧化碳排放的多种影响因素分析也说明政策的有为。因此,通过精心设计并制定执行积极的可持续发展的能源政策,使能源和环境成本内部化,优化产业结构和能源消费结构,能改变曲线的形状,使曲线趋于平缓,甚至能让拐点提前到来。

现阶段中国经济增长的能源需求刚性说明,强制性二氧化碳减排必将以牺牲经济增长和城市化进程为代价,但减慢二氧化碳排放的增长却是可能的。目前在人均收入持续增长的同时,要减缓二氧化碳排放的增长,可以通过降低能源强度,降低工业比例和煤炭消费比例实现。但是,中国的经济发展阶段、城市化进程以及煤炭的资源 and 价格优势,决定了重工化的产业结构和以煤为主的能源结构。因此中国降低二氧化碳排放增长的关键是能源强度,特别是工业能源强度,这就需要通过提高能源效率来降低能源强度。价格是提高效率最有效的方法,所以,能源改革的核心应当是改革能源价格,将环境成本和资源稀缺成本内部化。通过建立透明的价格形成机制,引导能源的合理消费和提高效率。

长期而言,中国可再生能源、清洁能源的发展目标还不足以改变以煤为主的能源消费结构。政府需要增加投入,加强新能源产业技术的研发,解决可再生能源电价问题,通过市场激励机制鼓励和扶持新能源,尽量减少二氧化碳排放的增量。

其国际政策含义是,在发达国家纷纷减排二氧化碳的同时,中国二氧化碳排放的持续增长将成为世界关注的焦点。部分西方国家认为中国作为二氧化碳的第一排放国,应当承担减排义务。但是,中国在承诺二氧化碳减排时必须谨慎,因为,现阶段强制性减排必须以牺牲经济增长为代价。应当向国际社会说明,在考虑排放总量的同时,还需要关注如

何从公平的角度定义排放。经济发展的先后已经造成了能源分配和环境污染的不公平。从西方开始工业革命的1750年前后到1950年的两个世纪里,化石燃料燃烧释放的二氧化碳发达国家占了95%。从1950~2000年一些发展中国家开始实现工业化的半个世纪里,发达国家的排放量仍占总排放量的77%。中国从1950年到2002年,化石燃料燃烧排放的二氧化碳只占世界同期累计排放量的9.33%。而且二氧化碳在大气层中最长能够停留3000年,因此,全球气候变暖主要是发达国家造成的;进一步说,中国目前的二氧化碳排放中有发达国家的“转移排放”。中国正处于经济持续高速增长、城市化加快、工业重化凸显的发展阶段,而发达国家早已走过了这个阶段,因此两者在同一时间段的排放不具有可比性。事实上,中国政府一直都以积极的态度对待二氧化碳的减排^①。因此,仅从排放总量评价中国排放是不合理的,但中国也需要正确面对碳排放问题,尽量控制增量。

国际社会的有诚意合作很重要,我们不能让大气中二氧化碳浓度超过其临界值,虽然我们不知道这个临界值是多少,但知道它一定存在。一旦超越这个临界值,二氧化碳库兹涅茨拐点是否到来可能就不重要了。因此我们更多的应该是防患于未然,尽量运用积极的政策去减少二氧化碳的排放。

(作者单位:厦门大学中国能源经济研究中心;
责任编辑:蒋东生)

注释

2007年,中国的发电标准煤耗334克/千瓦时。热量转换标准为:1吨原煤=0.7143吨标准煤;1千克标准油=1.4286千克标准煤。

二氧化碳的排放=(化石燃料燃烧排放)+(水泥生产过程中碳酸钙分解排放)-(用于石化产品没有燃烧的原油产生的排放)-(二次能源净出口而没在国内消费的化石燃料燃烧排放)。

化石燃料中煤炭、石油和天然气的消费量等于一次能源消费乘以各自在一次能源消费中所占的比例。二氧化碳预测中的两种情形与能源消费结构中的两种情形一致。煤炭、石油和天然气燃烧排放的二氧化碳等于各自的消费量乘以转化率,乘以二氧化碳排放系数;煤炭排放系数来自BP,为1.86t/t;石油排放系数来自CDIAC,排放系数为3.12t/t;天然气的排放系数0.00209t/m³。煤炭、石油和天然气的转化率来自CDIAC。

在生产水泥的过程中,除了煅烧水泥熟料和烘干原料用燃料燃烧产生二氧化碳以外,石灰石中的碳酸钙分解氧化钙的同时生成二氧化碳。普通硅酸盐水泥熟料含氧化钙65%,1吨水泥熟料生成0.51吨二氧化碳。假设2020年以后为高贝利特水泥,水泥熟料含氧化钙45%,排放系数为0.35t/t。水泥消费预测来自韦保仁,《中国能源需求与二氧化碳排放的情景分析》,中国环境科学出版社,2007年。

二次能源净出口而没有在国内消费的化石燃料对于中国,

主要是焦炭的净出口。2007年中国出口焦炭所排放的二氧化碳为3656万吨,其对总量的影响很少。我们假设:随着中国能源需求的增加和能源稀缺的加剧,未来中国焦炭的出口不会大幅度地增加,其燃烧排放对中国二氧化碳总量的影响仍然很小。因此在预测中忽略不计。

国家人口发展研究战略课题组发布的国家人口发展的战略目标为:2010年,人口总量控制在13.6亿人;2020年,人口总量控制在14.5亿人。联合国对中国人口的预测为:到2010年底人口年未达到13.7亿;2020年底人口年未达到14.5亿。2030年底人口年未达到14.9亿;2040年底人口年未达到15.4亿。本文结合两者的研究,假设2010年,人口总量控制在13.6亿人;2020年,人口总量控制在14.5亿人;2030年底人口年未达到14.9亿;2040年底人口年未达到15.4亿。

中国的人均二氧化碳和人均GDP是根据对2008~2040年中国GDP、二氧化碳排放量以及人口的预测计算而来。对GDP年均增长率的假定与第四章中的假定一致。

横轴表示以中国2000年价格为基准的实际人均GDP,纵轴表示中国的人均二氧化碳排放。中国二氧化碳的库兹涅茨曲线始于2000年,止于2040年。

具体证明过程可参考文献:Ang B.W., 2004, "Decomposition Analysis for Policy Making in Energy: Which is the Preferred Method?", *Energy Policy*, Vol.32, pp.1131~1139。

2007年,一、二、三产业和工业的能源强度分别为0.42、2.00、0.46和2.21吨标准煤/万元。各产业GDP按2000不变价计算。数据来源:根据中经网统计数据库的数据计算而得。

IPAT模型,即环境压力等式($I = PAT$)。I表示 environmental impact, P表示 population, A表示 affluence, T表示 technology。IPAT模型反映人口规模、富裕度、技术水平对环境压力的影响。

美国的人均二氧化碳排放和人均GDP(2000年美元不变价)根据世界银行的WDI计算而来。

中国的二氧化碳减排是指“减缓二氧化碳排放量的增长速度,而不是减少二氧化碳的排放总量”。

①数据来源:《应对全球变暖:发达国家肩负更大责任和义务》,新华网,2007年6月6日。http://www.china.com.cn/city/txt/2007-06/07/content_8358331.htm。

参考文献

(1)蔡昉、鄱阳、王美艳:《经济发展方式转变与节能减排内在动力》,《经济研究》,2008年第6期。

(2)韩玉军、陆旸:《经济增长与环境的关——基于对CO₂环境库兹涅茨曲线的实证研究》,中国人民大学经济学院工作论文,2007年。

(3)陆虹:《中国环境问题与经济发展的关系分析——以大气污染为例》,《财经研究》,2000年第10期。

(4)林伯强、蒋竺均、何晓萍:《中国城市化进程中的能源需求和消费结构预测》,厦门大学能源经济研究中心工作论文,2008年。

(5)《气候变化国家评估报告》编委会:《气候变化国家评估报告》,科学出版社,2007年。

(6)韦保仁:《中国能源需求与二氧化碳排放的情景分析》,中国环境科学出版社,2007年。

(7)Ang B. W., 2004, "Decomposition Analysis for Policy Making in Energy: Which is the Preferred Method?", *Energy Policy*, Vol.32, pp.1131~1139。

(8)Cole, M. A., Rayner, A. J. and Bates, J. M., 1997, "The Environmental Kuznets Curve: An Empirical Analysis", *Environment and Development Economics*, Vol.2, pp.401~416。

(9)Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H. and Wheeler, D.,

2002, "Confronting the Environmental Kuznets Curve", *Journal of Economic Perspectives*, Vol.16, pp.147~168。

(10)Dietz T., Rosa E. A., 1994, "Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence, and Technology", *Human Ecology Review*, Vol.1, pp.277~300。

(11)Ehrlich, P. R., Holdren, J. P., 1971, "Impact of Population Growth", *Science*, Vol.171, pp.1212~1217。

(12)Friedl, B., Getzner, M., 2003, "Determinants of CO₂ Emissions in a Small Open Economy", *Ecological Economics*, Vol. 45, pp.133~148。

(13)Galeotti, M. and Lanza, A., 1999, "Desperately Seeking (Environmental) Kuznets", Working Paper, CRENoS 199901。

(14)Galeotti, M., Lanza, A. and Pauli, F., 2006, "Reassessing the Environmental Kuznets Curve for CO₂ Emissions: A Robustness Exercise", *Ecological Economics*, Vol.57, pp.152~163。

(15)Grossman, G. M. and Krueger, A. B., 1991, "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement", National Bureau of Economic Research Working Paper, No. 3914。

(16)Holtz-Eakin, D. and Thomas M. Selden, 1995, "Stoking the Fires? CO₂ Emissions and Economic Growth", *Journal of Public Economics*, vol.57, pp.85~101。

(17)IEA, 2008, *Energy Technology Perspectives 2008 Scenarios and Strategies to 2050*, IEA, Paris。

(18)IPCC, 2007, "Climate Change 2007: The Physical Science Basis of Climate Change", Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/>。

(19)Lantz V., Feng Q., 2006, "Assessing Income, Population, and Technology Impacts on CO₂ Emissions in Canada, Where's the EKC?", *Ecological Economics*, vol.57, pp.229~238。

(20)Martin Wagner, 2008, "The Carbon Kuznets Curve: A Cloudy Picture Emitted by Bad Econometrics?", *Resource and Energy Economics*, Vol.30, pp.388~408。

(21)Martinez-Zarzoso, I., Bengochea-Morancho, A., 2004, "Pooled Mean Group Estimation for an Environmental Kuznets Curve for CO₂", *Economics Letters*, Vol. 82, pp.121~126。

(22)Moomaw W. R and Unruh G. C., 1997, "Are Environmental Kuznets Curve Misleading US? The Case of CO₂ Emissions, Special Issue on Environmental Kuznets Curves", *Environmental and Development Economics*, Vol.2, pp.451~463。

(23)Munasinghe. Mohan, 1995, "Making Economic Growth More Sustainable", *Ecological Economics*, vol. 15, pp.121~124。

(24)Panayotou, T., Sachs, J. and Peterson, A., 1999, "Developing Countries and the Control of Climate Change: A Theoretical Perspective and Policy Implications", *CAER Discussion Paper*, No. 44。

(25)Shafiq, N., Bandyopadhyay, S., 1992, "Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-country Evidence", World Bank Policy Research Working Paper, No.904。

(26)Selden, T. M. and Song, D., 1994, "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 27, pp.147~162。

(27)Yoichi Kaya, 1989, "Impact of Carbon Dioxide Emission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios", Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, Paris。