

中国城市化阶段的碳排放： 影响因素和减排策略*

林伯强 刘希颖

内容提要：作为目前国际上碳排放总量和增量都是最大的国家，中国碳减排的国际压力日益增大，而所处的城市化经济发展阶段的能源需求特征又使得碳减排相对困难，因此，制定现阶段的碳减排政策是中国政府最为紧迫的任务。本文针对中国当前阶段性经济增长和能源消费特征，对 Kaya 恒等式做出适当修正，引入城市化因素，研究了现阶段碳排放的影响因素。本文选用协整的方法研究了 CO₂ 排放量与主要变量之间的长期均衡关系。采用蒙特卡洛模拟法，动态地解释和预测了在各解释变量服从既定概率分布的前提下中国 CO₂ 排放量的增长情形。中国在城市化进程中控制碳排放增量，实现低碳转型应当在保证 GDP 增长的前提下，通过控制城市化速度和将城市化进程作为低碳发展的机会，以及通过降低能源强度（节能）和改善能源结构（通过增加清洁能源在能源消费结构中的比重）来实现。低碳转型战略的选择应该是：节能为主，发展清洁能源为辅。

关键词：城市化 二氧化碳排放 能源强度 能源结构

一、引言

气候变化已成为全球关注的焦点，中国作为全球最大的 CO₂ 排放国，明显受到国际减排压力。2009 年，政府提出 2020 年单位 GDP 碳排放（GDP 碳强度）要在 2005 年的基础上下降 40%—45% 的目标。

中国目前处于城市化工业化阶段。2007 年，中国的 GDP 约占世界总量的 6%，但是钢铁消费量占世界的 30%，水泥占 54%，说明中国正在经历着城市化工业化进程。1978 至 2008 年间，GDP 以平均每年 10% 的速度增长，一次能源需求年均增长 5.7%，电力 9.1%。2003—2008 年间一次能源消费总量的年均增长速度接近双位数，说明中国工业化城市化的进程正在加速。目前中等收入国家城市化率大约为 61%，高收入国家为 78%，中国 2008 年为 46%。预计 2020 年，中国城市化水平也将达到 60% 左右，意味着从现在到 2020 年，大约 3 亿人口将由农村移居城市工作生活。

城市化工业化阶段的能源消费特征是增长快和能源需求刚性。城市居民人均能源消费量是农村居民的约 3.5—4 倍。城市化相关的大规模城市基础设施和住房建设需要大量的水泥与钢铁，只能在国内生产。此外，为城市化提供大量的就业，要求中国的产业结构主要以劳动密集型为主，生产相对低端、高耗能的产品。对于像中国这样的人口大国，城市化发展阶段与能源需求之间存在着紧密的逻辑关系，即经济快速增长会推动城市化进程，城市化进程会提高整体能源消费水平，由于城市化与工业化基本同步，城市化进程中的工业化特征体现为高耗能产业迅速发展，也意味着能源消费增长较快。相对于国内工业化城市化进程所需要的大量高耗能产品来说，国际市场太小，只能

* 林伯强、刘希颖，厦门大学中国能源经济研究中心，邮政编码：361005，电子信箱：bqlin@xmu.edu.cn, xyjnglv@126.com。本文受到长江学者科研配套经费和国家社科基金重大项目（09&ZD050）的支持。作者衷心感谢两位审稿人的具有建设性的意见。

依靠国内生产来满足,因此,能源需求是刚性的。

即使按照目前的新能源与可再生能源发展规划, Lin & Liu(2010)证明了中国能源结构仍将长期以煤为主。中国2008年的能源消费总量为28.5亿吨标准煤,其中,煤炭消费量占比为68.7%,石油消费量占比为18.7%,天然气占比为3.8%,其他新能源与可再生能源占比仅为8.8%。林伯强等(2009a)利用协整方法预测了在城市化、产业结构及经济增长等阶段特性要素的影响之下,至2020年,中国一次能源消费总量将达到47.3亿吨标准煤,其中,煤炭占63.9%,石油占13.9%,天然气占6.2%,其他新能源及可再生能源占比16%。^①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,单位发电燃烧煤炭产生的CO₂是石油的1.3倍(林伯强等,2009b)。

中国的城市化工业化至2020年将基本完成。从现在到2020年,中国能源需求刚性且快速增长的趋势不会改变,以煤为主的能源结构也无法改变,碳排放仍将快速增长,即使是逐步降低碳排放增量,也是非常艰巨的任务。中国的低碳转型战略和减排政策选择只能从控制碳排放增量入手,也就是说,中国的低碳转型必须兼顾阶段性发展特征,谨慎选择碳减排与经济发展之间的平衡点。中国政府最近提出GDP碳强度目标,说明中国的低碳转型是以保障经济增长为前提的。

目前中国的许多问题,如高耗能、高排放、粗放式经济增长、重工业化经济结构和能源效率低等,都是经济发展的阶段性基本特征。作为国际上碳排放总量和增量都是最大的国家,其碳减排的国际压力日益增大,而所处的城市化发展阶段又使得碳减排非常困难。因此,如何在充分认识城市化阶段的能源消费特征和碳排放影响因素的基础上制定现阶段的碳减排政策,是中国政府最为紧迫的任务。对于中国来说,制定有效的低碳转型战略和政策,必须以城市化这一发展阶段为起点,充分理解城市化的人口转移对能源和碳排放的冲击,以及该阶段中能源消费增长和能源需求刚性问题。因此,本文研究城市化进程的碳排放影响因素,结果和政策建议将具有现实的政策意义。既有利于政府参与国际合作与博弈,也有利于政府从城市化进程中经济增长、能源消费和排放的基本特征出发,制定切合实际的碳减排政策。

二、文献综述^②

对经济发展、城市化与能源资源利用、温室气体排放相关问题的研究文献可归为以下几类:

首先,城市化是一国由低收入国家向中等收入国家迈进的经济发展中不可避免的一个阶段,且城市化与工业化是同步推进的,目前的中国尚处于工业化、城市化过程中(加速经济增长时期),从中长期看,中国经济还会保持快速增长(刘霞辉,2003)。中国现阶段城市化(工业化)进程虽然实现了较快发展,但却面临较为严重的资源与环境约束(张红凤等,2009;涂正革,2008)。林伯强等(2009a)以及何晓萍等(2009)指出,通过在农业部门、工业生产、交通运输体系及居民生活的影响,城市化带动了能源消费的快速且大幅上涨。中国能源需求与各种社会与经济因素、其中特别是与城市化水平之间存在着稳定的长期关系(Liu,2009)。综上所述,中国目前所体现出的城市化与工业化的阶段性特征,会对其能源消费以及由此带来的温室气体排放问题产生重要影响。

其次,随着全球气候变暖问题的日益严峻,更多的研究开始专注于如何在城市化进程中缓解由大量化石能源利用带来的温室气体排放问题。对于大多数发展中国家,由于成本与资源禀赋的约束,只能选择以煤为主的能源结构,必将面对严重的温室气体排放及环境污染问题。Parikh和Shukla(1995)利用发展中国家面板数据研究了城市化进程中的能源利用问题,并针对如何避免这期

^① 此处能源消费总量为假定经济中速发展的情景之下预测得出,能源结构的计算则基于实施能源规划的结果得出。

^② 根据审稿人意见,我们对综述的文献进行了梳理,重点列出对发展中国家碳排放研究的文献,特别是针对中国城市化进程中碳排放问题的研究。

间的温室气体过量排放提出政策建议。

国内学者对中国现阶段城市化进程中碳排放问题的研究,主要包括对排放增长的预测和影响分析。王锋等(2010)研究了1995—2007年间中国CO₂排放量增长的驱动因素。林伯强等(2007, 2009b)预测了中国煤炭需求增长带来的CO₂排放量的增加及中国CO₂排放的环境库兹涅兹曲线。陈诗一(2009)利用绿色增长核算分析了能源消耗和CO₂排放对中国工业增长方式转变和可持续发展的影响。蔡等(2008)指出,针对经济发展阶段变化所产生的改变经济增长方式和改善环境质量的要求,政府可以做出积极的政策反应,从而更有针对性、更有效和更加激励相容地实施减排。林伯强等(2010)就节能与CO₂排放约束下中国能源结构的战略调整问题提出政策建议。同时,由于全球气候变暖问题已成为当前人类共同面临的挑战,国务院发展研究中心课题组(2009)提出将各国“共同但有区别的责任”明晰化、将所有国家纳入全球减排行动的后京都时代解决方案。

最后,Kaya恒等式确定了人类经济与社会活动同温室气体排放之间关系,众多国内外文献均基于该式展开碳排放方面的研究。Kaya(1989)提出了Kaya恒等式,通过因式分解的方法,在(与能源使用有关的)温室气体排放与人口、经济发展水平、能源利用效率和单位能源消费的碳排放因素之间建立了相应关系。Duro & Padilla(2006)利用Theil指数分解法,证实Kaya因素中引起不同国家间人均碳排放差异的最重要因素为人均收入,其次为能源消费碳强度与能源强度。其他一些文献则利用Kaya恒等式分析了不同国家及部门温室气体减排目标实现的可能性,并给出相应政策建议(McCollum et al., 2009; Yang et al., 2009)。国内一些文献通过对Kaya恒等式的分解,得出对中国碳排放影响较为显著的因素包括经济增长、收入增加和能源强度(林伯强等, 2009b)。

目前对中国碳排放的研究主要有以下不足:首先,大多数文献都没有考虑到中国的阶段性特征,即城市化进程所带来的能源需求快速增长和刚性问题,而这两个因素对中国现阶段碳排放的影响和政策抉择最为重要,由于没有针对阶段性发展问题,所得出的政策建议也缺乏现实意义。^①其次,现有对碳排放量预测及影响因素的分析多采用对Kaya恒等式进行分解的方法,而分解的方法中各因素每年所占的权重均不同,需要进行逐年或者分时段的分析,而且受到必须恒等的约束。最后,Kaya恒等式在人类经济社会活动与(与能源使用有关的)温室气体排放之间建立了恒等关系。但是,由于Kaya恒等式分解无法有效反映城市化经济发展的阶段性特征和相关问题,特别是由于中国的人口控制,人口总数变量是一个相对稳定的值,仅依靠原等式中的人口总量不能反映城市化的大规模人口从农村向城市转移所带来的能源需求和碳排放影响。而城市化的人口转移对能源和碳排放的冲击是非常明显的,特别是城市化进程中的高耗能增长特征,是影响中国能源需求及CO₂排放的重要因素。因此,要准确描述现阶段中国能源需求和碳排放影响因素,需要对城市化阶段的影响有一个把握,尤其是城市人口的变化,这也是本文注重研究城市化进程的碳排放的原因。

为了捕捉中国目前城市化进程中经济增长、能源消费和排放的特征,以及城市化水平的影响,在Kaya恒等式基本关系的基础上进行扩展,用“城市化水平”变量替代人口总数变量。由于本文选用协整的方法,将城市化变量引入模型,替代原等式中出现的人口总数变量,这样能够在保持基本的理论内涵与变量关系不变的基础上,通过对城市化进程中碳排放因素的理解,提出中国现阶段低碳转型战略及相关政策建议。

三、数据与模型

由日本学者Yoichi Kaya提出的Kaya恒等式将CO₂(或温室气体)排放量分解为与人类生产生

^① 陈诗一(2009)对中国工业化对CO₂排放的影响做了较深入分析,但该研究仅限于工业部门。本文的改进之处在于,针对城市化进程中中国的CO₂排放总量进行研究。

活相关的四个要素,以解释人类活动与温室气体排放的关系,如下式所示:

$$GHG = \frac{GHG}{TOE} * \frac{TOE}{GDP} * \frac{GDP}{POP} * POP \quad (1)$$

其中, GHG 代表温室气体排放量, TOE 为能源消费总量, GDP 为国内生产总值, POP 代表总人口。因此, 等式右边四项分别代表单位能源消费的温室气体排放量、能源强度、人均 GDP 以及人口。

1. 单位能源消费的温室气体排放量(本文中主要指 CO₂ 排放量, 该指标在后文中被简称为能源消费碳强度)。在所有的终端能源消费类型中, 化石能源的使用是造成温室气体排放的最主要原因, 其次是生物质能, 而其他类型的新能源及可再生能源, 包括太阳能、风能和水能的使用, 碳排放量几乎为零。因此, 能源消费碳强度主要受能源结构的影响, 反映了能源质量问题, 因为每种能源的碳排放系数不等, 清洁能源在能源结构中所占的比例越高, 单位能源消费带来的温室气体排放量就越小。但是, 当前全球能源消费结构以化石能源为主, 中国的情况更甚, 以化石能源中碳排放强度最高的煤炭为主。因此, 为降低能源消费碳强度, 中国未来必将面对改善能源生产和消费结构的选择。除此之外, 该变量还受到能源利用效率的影响。

2. 能源强度。能源强度即单位 GDP 生产过程中的能源消费量, 在当前的城市化发展阶段, 中国经济体现出较为明显的工业化(或重工业化)特征, 使得单位 GDP 生产往往需要消耗较多的能源。同时, 能源强度也是衡量能源利用效率的重要指标。对于中国目前所处的城市化与工业化进程中经济快速增长的要求来说, 必须通过提高能源使用效率来避免不必要的浪费和降低能源强度, 并延长既定供给量下的能源使用期及实现可持续发展。

3. 人均 GDP。人均 GDP 能够代表一个经济体大致所处的经济发展阶段, 而不同的经济发展阶段则意味着不同的能源消费特征。中国目前处于城市化与工业化的快速推进阶段, 经济发展速度快, 不但能源需求总量大, 增速也快, 而且呈刚性特征。

4. 人口。本文将人口总数变量用人口结构变量(城市化水平)来代替。根据前文的分析, 由于中国的人口控制, 在数据期间的人口总数变量是一个相对稳定的值, 不能捕捉城市化人口转移带来的能源和碳排放影响。然而, 城市化的人口冲击将是非常明显的, 城市人口的人均能源消费高于农村人口的 3.5—4 倍(何晓萍等, 2009), 因此, 要准确描述现阶段中国能源需求和排放, 需要对城市化的影响有一个把握。

针对中国当前经济发展的阶段性特征, 本文将利用协整方法分析碳排放量与各变量之间的长期均衡关系, 以研究城市化进程中各经济与社会因素对碳排放的影响。通过在 CO₂ 排放总量(Q_t)与能源消费碳强度(PC_t)、能源强度(I_t)、人均 GDP(PG_t)和城市化(U_t)之间建立协整方程, 来探求各因素与 CO₂ 排放之间的长期均衡关系:

$$Q_t = f(PC_t, I_t, PG_t, U_t) \quad (2)$$

其中, 需要对能源消费碳强度的计算做出较为仔细的介绍。本文的计算方法与参数设定与林伯强等(2009b, 2010)相同, 煤炭、石油和天然气燃烧排放的 CO₂ 等于各自的消费量乘以转化率, 再乘以 CO₂ 排放系数。如公式(3)所示:

$$C_i = \sum \alpha_i \beta_i E_i \quad (3)$$

其中, C_i 为第 i 种能源的 CO₂ 排放量, α_i 为该类能源的转化率, β_i 为其 CO₂ 排放系数。^① E_i 为煤炭、石油和天然气的消费量, 等于一次能源消费总量乘以各自在一次能源消费中所占的比例。

基于上述计算结果, 可得到能源消费碳强度, 即上述三种能源的 CO₂ 排放量加总, 再除以能源

① 煤炭排放系数来自 BP, 为 1.86/t; 石油和液化天然气排放系数来自 CDIAC, 分别为 3.12/t 和 0.00209/m³。各类能源的转化率系数分别为: 1kg 原煤= 0.7143kg 标准煤; 1kg 原油= 1.4286kg 标准煤; 1m³ 天然气= 1.33kg 标准煤。数据来源:《中国能源统计年鉴》(2008)附录 4。

消费总量(E_t), 如公式(4)所示:

$$PC_t = \frac{\sum_{i=1}^3 C_{i,t}}{E_t} \quad (4)$$

能源强度(I_t)为单位 GDP 生产带来的能源消费量, 等于第 t 年的能源消费总量(E_t)与第 t 年的 GDP(1978 年不变价)之比:

$$I_t = \frac{E_t}{GDP_t} \quad (5)$$

另外, CO_2 排放总量除考虑由化石燃料燃烧带来的排放之外, 还需要考虑水泥生产过程中碳酸钙分解排放的因素。^①水泥生产带来的 CO_2 排在总排放中的占比逐年快速上升, 由 1978 年的 2.18% 增至 2006 年的 9.84%。^②如果将 CO_2 排放总量中将近 10% 的部分忽略不计, 就不能保证对中国城市化进程中碳排放问题的全面分析。而且, 中国城市化进程的推进(特别是房屋建筑及公路道路建设)也是带动水泥需求量及水泥业 CO_2 排放大幅增加的主要原因。因此, 在上述模型的基础上再加入一个解释变量为水泥产量(CE_t), 用于解释水泥生产带来的 CO_2 排放。由历史数据可知, 单位水泥生产带来的 CO_2 排放量在样本区间内基本保持在 0.496 不变,^③因此水泥产量的增加是引起水泥行业 CO_2 排放量增长的最主要因素。

综上所述, 得到本文分析中国城市化阶段 CO_2 排放影响因素的方程:

$$Q_t = f(PC_t, I_t, PG_t, U_t, CE_t) \quad (6)$$

CO_2 排放总量的数据来源于二氧化碳信息分析中心(Carbon Dioxide Information Analysis Center, CDIAC), 其它数据均来源于中经网数据库。为了减少数据处理中的误差, 对原始数据分别取自然对数, 得到原始序列变量: CO_2 排放总量、能源消费碳强度、能源强度、人均 GDP、城市化和水泥产量, 分别记为: LQ_t 、 LPC_t 、 LI_t 、 LPG_t 、 LU_t 和 LCE_t 。本文样本区间为 1978—2008 年。采用的计量分析软件为 Eviews 5.0。

四、协整模型结果分析

在时间序列数据研究中, 经常遇到一些本身是非平稳序列的经济变量, 但是, 它们的线性组合却有可能是平稳序列。这种平稳的线性组合被称为协整方程, 且可被解释为变量之间长期稳定的均衡关系。常用的协整检验方法主要包括, Engle & Granger(1987)提出的对回归方程的残差进行单位根检验的方法, 及 Johansen & Juselius(1988, 1990)提出的基于回归系数的协整检验。本文采用 Johansen 检验法进行协整检验。

首先, 本文综合考虑 ADF(Augmented Dickey-Fuller)检验和 PP(Phillips-Perron)检验结果, 得出所有变量均在 1% 的显著性水平下达到二阶平稳。因此认为, 所有变量符合 $I(2)$, 满足构造协整方程组的必要条件。

① 除此之外, 还需要减去因二次能源净出口而没在国内消费的化石燃料排放。对于中国主要是指焦炭的净出口。2007 年中国出口焦炭所排放的 CO_2 为 0.37 亿吨, 对总量的影响很小。因此可假设: 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增加, 其燃烧排放对中国 CO_2 总量的影响仍将很小, 因此在预测中忽略不计(林伯强等, 2010)。而且, 本文 CO_2 排放总量的数据来源于 CDIAC, 该数据仅包括化石燃料及水泥生产过程中的 CO_2 排放, 这样解释也保证了协整方程两边数据统计口径的一致性。

② 根据 CDIAC 的碳排放总量及水泥生产的碳排放数据计算得到。

③ 根据公式计算得到: 单位水泥生产的 CO_2 排放量 = 水泥生产的 CO_2 排放量 / 水泥产量, 其中, 水泥生产的 CO_2 排放量数据来源于 CDIAC, 水泥产量数据来源于中经网数据库。

表1 I(2)单位根检验结果

	<i>LQ</i>	<i>LPC</i>	<i>LI</i>	<i>LPG</i>	<i>LU</i>	<i>LCE</i>
ADF 检验	- 5.2462	- 5.0264	- 4.8416	- 5.0082	- 9.9659	- 5.5548
PP 检验	- 6.3589	- 10.6273	- 7.9341	- 6.2276	- 10.1937	- 5.8079

其次,本文选择 Johansen 协整检验方法。根据 Max Eigen 统计量的检验结果,在 5% 的显著性水平下,各变量之间有三个协整关系。考虑存在协整关系假定下经过标准化的协整系数,提取一个协整方程如下(括号内为标准差):

$$Q_t = 0.708LPC_t + 0.937LI_t + 0.947LPG_t + 0.219U_t + 0.060LCE_t + 1.908$$

$$(0.2012) \quad (0.0149) \quad (0.0547) \quad (0.0476) \quad (0.0335) \quad (7)$$

协整方程的结果表明,在 1978—2008 年间,中国的 CO₂ 排放总量与能源消费碳强度、能源强度、人均 GDP 和城市化水平之间存在着稳定的长期均衡关系。方程(7)中,所有变量的系数均符合其经济意义,且在 5% 的置信水平下通过 *t* 统计量检验,模型整体也具有较高的拟合度。

协整方程中对 CO₂ 排放影响最为显著的变量是人均 GDP 和能源强度,它们每变动 1 个百分点,分别会带动 CO₂ 排放总量同方向变动 0.95 和 0.94 个百分点。其次,影响从大到小依次为能源消费碳强度、城市化水平和水泥产量,它们每变动 1 个百分点,分别会引起 CO₂ 排放总量 0.71、0.22 和 0.06 个百分点的同向变动。

本文的结果与现有的相关文献的结论基本一致。多数研究肯定了经济增长(或人均收入增长)是影响 CO₂ 排放的重要因素,而能源强度、能源消费碳强度也对 CO₂ 排放具有明显的影响。除此之外,本文引入的水泥产量也对 CO₂ 排放量具有显著的影响,其系数值较小,但也符合现实情况,因为目前水泥生产带来的 CO₂ 排在总排放中仅占不到 10%。

协整方程的结果说明,经济发展速度(人均收入增长)对 CO₂ 排放量的增速具有重要影响。中国预期在 2020 年步入中等收入国家行列,保持稳定而较快的经济增长一直是中国政府的重要目标,政府承诺的碳减排目标实际上也是以保障 GDP 经济发展为前提的。其次,城市化对 CO₂ 排放也有比较显著的影响,而中国基本完成城市化也是 2020 年的发展目标。再次,韦保仁(2007)认为,中国的城市化进程是带动水泥需求增长的最主要因素,只要大规模的城市建设、道路运输体系建设的需求存在,水泥的产量就仍将持续上涨。^①因此,中国至 2020 年的碳排放仍将较快增长。

那么,控制至 2020 年碳排放的增量,政策调整重点就在于能源强度和能源消费碳强度这两个指标,而且,根据协整方程可知,对能源强度的调整能够带来较为显著的效果。前文分析已指出,能源强度衡量的是能源利用效率,能源消费碳强度则着重体现能源结构的清洁程度(清洁能源在能源消费总量中所占比重的高低),前者侧重于能源使用数量,后者侧重于能源利用的质量,综合考虑两个指标能更有效地实施降低 GDP 碳强度的目标。

五、二氧化碳排放量变动的情景分析

为预测中国 2010—2020 年间 CO₂ 排放量的年均增速,本文首先根据经济发展速度、城市化进程以及能源政策实施的有效性,对各解释变量的年均变化率设定了一个基准情况。^②基准情景反映了未来的可能变化趋势,但其目的并不在于提供对一些特定经济情况或事件的精确估计,而在于揭

① 根据审稿人意见,为了保证等式的碳排放口径一致,考虑了水泥生产的碳排放。由于本文主要以宏观经济与能源政策选择为研究目标,因此不再对水泥需求的变动及其对碳排放的影响做详细分析。

② 由于协整方程中所有变量取对数计算,因此后文分析中各变量的变动情况都用其增长率来表示。

示和澄清影响未来经济增长和发展的基本因素(李善同等, 2005)。然后, 在其基础上对变动情况做出一定调整, 选取两种不同的情景假设, 以期比较全面地分析可能出现的情况, 并能够在不同的政策取向带来的能源利用及环境后果之间做出比较。

1. 人均 GDP。人均 GDP 的增长率通过全国 GDP 总量和人口的增长率得到。本文基于政府对 2020 年 GDP 增速约为 8% 的规划, 并综合考虑李善同等(2005)和王小鲁等(2009)对中国经济增长的研究, 将预测时段分为 2010—2015 年和 2016—2020 年两个区间, 分别取 8% 和 7.5% 为基准情形的 GDP 总量年均增长率。根据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, 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, 由此可得预测区间内的年均人口增长率为 0.64%。综上, 基准情景中人均 GDP 的年均增长率为 7.36% 和 6.86%。在此基础上, 分别上下浮动 1 个百分点,^①得到其他情景的增长率。

2. 城市化。本文与何晓萍等(2009)和林伯强等(2009a)的假设相同, 设定基准情形中, 2020 年中国城市化水平将达到 60%。其他情形中则分别假定将达到 57% (中国经济增长与宏观稳定课题组, 2009; 王小鲁等, 2009) 和 63% (根据 57% 设定 3% 的波动幅度) 的水平, 据此计算整个区间内城市化的年均增长率。

3. 能源强度。由于能源强度指标的大小将受到能源消费总量、GDP 增长以及政策约束等各因素的影响, 变动较为复杂, 因此本文将采用两种方法进行推算并综合考虑。首先, 根据林伯强等(2009a)对中国 2010—2020 年能源需求量的预测及经济增长的假定, 可得其预测的能源强度年均下降为 3.5% (2010—2015 年) 和 3.1% (2016—2020 年) (见表 3)。其次, 中国“十一五”计划中提出, 2010 年能源强度将在 2005 年的基础上下降 20%, 但截至 2008 年底, 能源强度仅在 2005 年的水平上下降了 8%, 未完成的指标必须在今后的一段时间内实现。因此, 基准情景将第一种方法得出的结果调整为 5.0% (2010—2015 年) 和 4.6% (2016—2020 年)。此处分阶段设置的原因是, 节能往往始于成本较低且易于推广的技术与方法, 因此, 节能的成本会随着能效的提高而逐步增加, 而节能的效果(体现为能源强度的下降速度)则会逐步下降。其他情景的设定在基准情景基础上分别向上、向下调整 0.5 个百分点得到。^②

4. 能源消费碳强度。^③中国政府于 2009 年 11 月 25 日正式提出, 到 2020 年, 单位国内生产总值碳排放(即 GDP 碳强度)要比 2005 年下降 40%—45%, 届时非化石能源(清洁能源)在能源消费结构中的比重也将上升至 15%。根据林伯强等(2009a)的估计, 在实施合理的能源规划的约束下,^④ 2020 年新能源与可再生能源将达到总能源的 16% (见表 4), ^⑤ 利用公式(4), 可计算出该能源结构下 2020 年能源消费碳强度指标, 然后与 2008 年的指标值进行对比, 得出年均增长率为 -0.80%

表 2 2010—2020 年中国能源需求预测

年份	能源需求总量(亿吨标准煤)	年均增速(%)
2010	31.40	-
2015	39.10	4.48
2020	47.30	3.88

注: 此表中 GDP 增速的设定为: 8% (2010—2015 年); 7% (2016—2020 年), 与本文的基准情景基本相同。

① 根据参考文献中不同情景的预测结果而设定。

② 基于林伯强等(2009a)中依据不同经济增长假设得到的不同能源需求总量结果, 能源强度指标的变动幅度为 0.3—0.5 之间, 本文为计算简便统一取值 0.5。

③ 后文将基于林伯强等(2009a)研究结果讨论, 为保持一致性, 也将一次能源终端消费结构分为化石能源(包括煤炭、石油和天然气)与水电核电。

④ 即国家发改委公布的《可再生能源中长期发展规划》的政策约束能够实现。

⑤ 根据审稿人意见, 对能源消费的碳强度、城市化、GDP 的预测和设定做出尽量详细的解释说明。该预测结果与国家的政策规划目标基本一致, 因此以其为基础来预测未来能源消费碳强度的变化趋势。

(2010—2015年)和-0.60%(2016—2020年)。提高能源消费结构中清洁能源与可再生能源的占比,所面临的最大瓶颈即成本问题,该比例的提高将随着“清洁化”能源结构的边际成本的递增而逐渐放缓,受此影响,能源消费碳强度指标的降低速度也逐步放慢(体现为两阶段速率递减)。在其他两种情景中,分别将年均变化率向上和向下调整0.2个百分点。^①

表3 中国能源结构现状与预测及年均变化率(%)

	煤炭	石油	天然气	水核风电
2008年	68.70	18.70	3.80	8.80
2020年	63.90	13.90	6.20	16.00
能源结构占比年均变化率	-0.60	-2.44	4.16	5.11

5. 水泥产量。韦保仁(2007)预测,到2020年中国水泥需求量^②为11.74亿吨,基于此计算出基准情景下的年均增长率为-1.46%,其它两种情景中的增长率分别设为-0.53%和-2.49%。^③

将上文对各解释变量指标值的设定,及由此得出的CO₂排放预测,综合列示于下表:

表4 各解释变量的增长率设定及二氧化碳排放量预测

情景	年份	增长率设定(%)					CO ₂ 排放年均增长率(%)	2020年CO ₂ 排放总量(亿吨)
		人均GDP	城市化水平	能源强度	能源消费碳强度	水泥产量		
情景1	2010—2015	8.36	2.72	-4.50	-0.60	-1.46	3.78	114.14
	2016—2020	7.86	2.72	-4.10	-0.40	-1.46	3.83	
基准情景	2010—2015	7.36	2.30	-5.00	-0.80	-1.46	2.13	94.18
	2016—2020	6.86	2.30	-4.60	-0.60	-1.46	2.18	
情景2	2010—2015	6.36	1.86	-5.50	-1.00	-1.46	0.48	77.43
	2016—2020	5.86	1.86	-5.10	-0.80	-1.46	0.52	

首先,根据上文中各解释变量的增长率设定,再依照前文估计的协整方程式,可得到CO₂排放量的年均增长率。综合各情景结果,CO₂排放量的年均增长率范围约为0.5%—3.8%,2020年排放总量的取值区间约为77—114亿吨。

其次,在基准情景中,我们采用了政府至2020年的经济增长目标(GDP年增长率约为8%)、其他文献设定的城市化水平,并假定基本完成政府承诺的GDP碳强度、能源强度和清洁能源占能源结构15%的政策目标,得出在2010—2020年间,CO₂排放总量仍将面临约为2.2%的年均增长,并且CO₂排放总量将在2020年达到约94亿吨。另外,还可以基于CO₂排放与GDP增速,得出GDP碳强度下降速度为5.8%(2010—2015年)和5.3%(2016—2020年),意味着2020年的GDP碳强度可以在2005年的基础上下降53%,超过政府提出的40%—45%的降低目标。

最后,本文基于以上三种情景,描述了未来最有可能出现(基准情景)、较为悲观(情景1)和较为乐观(情景2)的三种发展趋势。通过比较可知,在情景分析中为变量设置不同的增长率,可得到存在显著差异的预测结果,说明不同的经济社会发展背景与能源政策影响下,将得到差距较大的CO₂排放量。根据预测结果,2020年中国CO₂排放总量可以为77亿吨(情景2)或114亿吨(情景

① 根据参考文献中不同情景下估计的能源结构计算变动幅度。

② 1990—2008年,中国水泥出口数量在水泥总产量中的平均占比不足2%,因此简化处理,将水泥需求的预测等同为水泥产量预测。

③ 韦保仁(2007)已对水泥消费量预测做出较为细致的研究,因此本文直接采用其研究结果。-0.53%的增长率由该文的另一预测结果(10.34亿吨需求量)计算得到;-2.49%由作者根据这两种情景的预测设定相同的变动幅度(13.14亿吨需求量)得到。

1), 变动幅度超过 35 亿吨。

情景 1 假定人均 GDP 增长较快, 城市化也将达到一个较高的水平, 但同时, 能源强度和能源消费碳强度的降低却略低于基准情景的设定。因此, 该情景为将来的 CO₂ 减排设定了一个较为悲观的发展前景。即一方面, 经济较快发展导致能源需求量较快增加, 由此带动 CO₂ 排放量的较快增长; 另一方面, 增加清洁能源和节能的政策力度却较弱。两方面综合影响的结果是, 中国将面临一个年均增长率接近 4% 的 CO₂ 排放增长。与 2005 年相比, 2020 年的 GDP 碳强度将下降约 42%, 有可能实现国家的减排目标。

情景 2 为实现降低 GDP 碳强度目标设定了一个较为乐观的前景。一方面, 经济与社会发展对能源与环境的压力相对较小, 经济的较低速增长与城市化进程的速度较慢, 降低了对能源需求的增长, 也就意味着 CO₂ 排放量的增长放缓; 另一方面, 假定节能政策的有效实施及能源结构的清洁化, 促使能源强度与能源消费碳强度都较快降低。与情景 1 相比, 情景 2 说明控制 CO₂ 排放量的过快增长, 政策上可以有两种选择: 一是降低经济与社会的发展速度, 即减缓人均 GDP 增速和城市化进程; 另一个则是实施更积极的能源政策, 以有效实现降低能源强度、改善能源结构、提高清洁能源在能源消费中的比重等目标。

六、二氧化碳排放量变动的动态分析

本部分突破情景分析中的静态局限, 利用蒙特卡洛模拟方法动态预测 CO₂ 排放量的变动。此处引入风险分析方法, 该方法多用于项目评估, 但仍然适用本文的政策研究, 原因在于: 首先, 因为各解释变量的未来发展趋势及年均变化率都具有一定的不确定性, 所以可以将它们看作风险因素, 而且是同时发生变化的风险变量; 其次, 根据协整方程可知, CO₂ 排放量的增长率与各解释变量之间存在着长期均衡关系, 根据各风险变量的变化预测 CO₂ 排放量的增长变动就是一个风险分析的过程。分析的结果可能是一些具体数值(如前文的情景分析结果), 但更为合理的应该是得出其值的概率分布。

林伯强(2003)指出, 国内的研究多采用敏感性分析的方法进行风险分析, 但是, 蒙特卡洛模拟的方法更具优势。对每个变量根据各自的发生概率随机取值, 再将这些取值与其他变量的随机取值组合起来考虑的方法就是基于蒙特卡洛模拟法的模拟。该方法的优势在于, 首先, 能够根据相关文献及研究为风险变量假设可能的特定取值, 而非敏感性分析中类似 10%、20% 的固定幅度变动, 固定幅度的取值过于机械, 而且存在不现实性, 如人均 GDP 不可能出现 20% 的年均增长; 其次, 考虑到各变量的分布特征可能不同, 为每种事件分别设立各自的概率, 分析更为精确; 另外, 将蒙特卡洛方法与计算机模拟相结合, 研究过程更为科学合理。

在蒙特卡洛模拟中, 对模型变量的分布假设很重要, 将对模型的预测结果产生重要的影响, 但是分布设定中往往面临着缺乏大量文献支持的问题(Greene & Ahmad, 2005)。针对一些变量, 可能会存在大量较为深入的研究(如 GDP 和城市化), 但对另一些变量, 现有的研究还很有限(如能源消费碳强度指标)。因此, 本文将参考 Greene & Ahmad(2005)的方法, 设定相应规则以选择变量分布: (1) 本文假设各风险变量符合离散的概率分布, 为每个风险变量分别设立 5 个离散取值及相应的分布概率。^①(2) 分布概率的设置同前文的情景分析基本相同, 基于相关文献以及各项节能减排政策的规划目标及实施情况。取值范围的设定基于情景分析, 赋最高概率的取值(同时也是中值)与基

^① 林伯强(2003)指出, 虽然随机选取离散变量值概率较难得到非常精准的结果, 但仍然可以满足政策实践的需要, 能够在某一定范围内对结果做出简明扼要的表述, 因此本文选择离散分布设置。

准情景的取值相同。(3) 概率分布基本取对称设定,除非有文献证明分布非对称。除非有文献支持极端值存在,否则取 5% 的概率分布,表明取到该值的概率很小。(4) 变量取值及分布概率的选择首先基于文献获取,如无文献直接支持,则根据现有研究推算。因此,本文动态分析旨在揭示未来 CO₂ 排放量的概率分布状况,而非具体的排放值预测。各风险变量的概率分布见表 5。

表 5 各解释变量的增长率及分布设定(%)

人均 GDP ^①		城市化水平 ^②		能源强度 ^③		能源消费碳强度		水泥产量 ^④	
增长率	概率	增长率	概率	增长率	概率	增长率	概率	增长率	概率
8.36	5	2.72	10	-4.50	5	-0.40	5	-0.53	5
7.86	20	2.44	10	-4.70	25	-0.60	25	-1.00	20
7.36	50	2.30	30	-5.00	40	-0.80	40	-1.46	50
6.86	20	2.16	30	-5.30	25	-1.00	25	-2.00	20
6.36	5	1.86	20	-5.50	5	-1.20	5	-2.49	5

注: 概率分布假定中已经较为全面地涵盖了解释变量可能出现的各种情况及可能性大小,因此风险分析中不再分时间段设定不同的增长率。

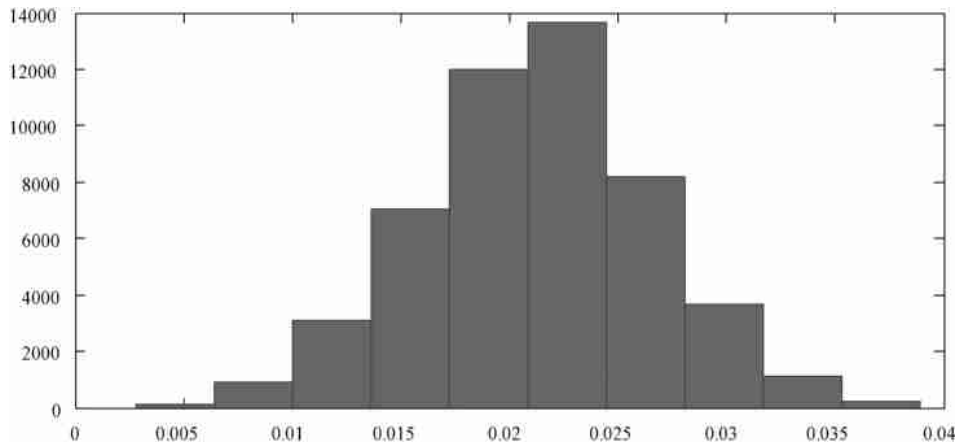


图 1 二氧化碳排放量年均增长率的直方分布图

根据表 5 所列表的各变量增长率及概率分布,以及第四部分的协整分析结果,本文利用 MATLAB6.0 软件,进行 5 万次模拟产生一系列的随机数据,得到 CO₂ 排放量年均增长率的分布直方图(图 1)。图中呈现了依据上述假设,未来可能出现的所有 CO₂ 排放量年均增长率的情况,其中概率最大的在 2%—2.5% 之间。该预测说明,在中速的经济增长前提下,实现《可再生能源发展规划》以及 GDP 碳强度降低等政策的目标约束,中国 2010—2020 年间 CO₂ 排放量的年均增长率保持

① 人均 GDP 的概率设定较为集中,因为基于相关文献对 GDP 增长的预测多集中在 7%—8% 之间(林伯强等, 2009b; 李善同等, 2005; 王小鲁等, 2009), 所以为 7.36% 设定较高的概率(50%), 即至少有 50% 的可能性达到该增速。

② 预测城市化水平的相关文献大多认为,城市化水平将在 2020 年达到 57%—60% 之间(中国经济增长与宏观稳定课题组, 2009; 王小鲁, 2009), 对大于(或等于)60% 的估计相对较少, 因此设定不对称的概率分布(为 2.30% 和 2.16% 的取值设定较高概率)。

③ 针对能源强度和能源消费碳强度指标的研究文献相对较少, 指标根据前文情景分析中的设定取值(基于林伯强等(2009a) 的估计), 并赋予对称的概率分布。

④ 韦保仁(2007) 的预测中, 中国水泥需求量于 2010 年达到 16.4 亿吨的结果与现实最为接近, 因此, 对该情景预测中 2020 年消费量达到 11.74 亿吨的结果设定较高的概率(50%), 将其作为最可能实现的消费量。其它增速则基于情景分析的设定, 简化设定为对称概率。

在2%—2.5%之间的概率较大。该结果与林伯强等(2009b)利用协整模型与马尔科夫模型、林伯强等(2010)基于能源结构调整约束所得出的结果基本一致。

同时,出现增长率过快或者过慢的其他情形概率依然存在,虽然概率相对较低,但我们不能完全排除小概率事件的发生。例如,突发的经济危机造成经济增速大幅放缓,或者技术进步取得显著突破,则能源需求和温室气体排放增速会大幅放慢;而节能减排以及调整能源结构、发展清洁能源的政策实施不力,能源强度和能源消费碳强度的降低就较难实现,会导致CO₂排放量较快增长。

从图1的结果可看出,能够达到的最低的CO₂排放增长率小于0.5%,最高的增长率则将近4%。林伯强等(2010)的研究指出,不同的CO₂排放约束意味着所需构建的能源结构不同,而对于能源结构的选择则很大程度上依赖于对成本的可承担程度。清洁能源从研发到应用与推广,面临的重大难题即成本问题。该成本既包括能源自身使用成本,也包括由此引发的间接的经济与社会成本,比如放慢GDP增长、造成就业降低等所付出的代价。

一方面,如果预期达到CO₂排放量年均增长低于1%的目标,必然需要GDP增长速度较显著地放慢,并同时付出高昂的代价进行节能以降低能源强度,以及大幅度提高清洁能源在总能源结构中的比重。但上述条件过于严苛且代价过大,林伯强等(2010)指出,在排放约束达到某一临界点时,对应的经济成本可能是无法接受的。因此,我们可以退而求其次,力求达到1.5%—2%的年均CO₂排放量增长,模型中实现该增长率区间的概率约为25%,说明通过政策向来实现的可能性较大,1%及以下的增长率则因成本过高(降低经济增长的成本及改善能源结构的成本等)和概率过小而不具有现实的经济可行性。并且,年均增长1.5%的CO₂排放约束也没有超过林伯强等(2010)中预测的86亿吨的临界值。^①另一方面,年均增长率高于3.5%的出现概率低于1%,证明将来CO₂快速增长的可能性很小,但风险仍然存在。在保持经济较快增长的同时,可以适当控制城市化速度,实现节能减排与清洁化能源结构的政策目标,以避免这种小概率事件的发生。

七、主要结论与政策建议

本文研究了2010—2020年中国CO₂排放量增长的静态与动态变动情况,说明政府降低GDP碳强度目标的合理性,并指出中国低碳转型的战略和路径,研究结果和政策建议均具有现实的政策意义。本文的研究结果表明,在上述解释变量中,人均GDP和能源强度是影响CO₂排放最主要的因素,其它依次是能源消费碳强度、城市化和水泥产量。该结果说明城市化的确对碳排放有重要影响,加入城市化变量可以更为准确地捕获这一特殊发展阶段对能源需求和碳排放的影响,以及城市化进程本身对碳排放的影响。政策上可以通过影响这些解释变量来控制CO₂排放量。研究结果还得出在2010—2020年间,CO₂排放总量将面临约为2.2%的年均增长率,2020年碳排放总量将达到约94亿吨。相应地,GDP碳强度下降速度为5.8%(2010—2015年)和5.3%(2016—2020年),意味着2020年的GDP碳强度可以在2005年的基础上下降约50%,能够实现政府设定的2020年GDP碳强度降低目标。如果愿意承受一定的经济社会成本,还可以通过更积极的能源与环境政策来将CO₂排放的年均增长率降至1.5%。

人均GDP是影响CO₂排放最主要的因素,但中国的人均GDP还将快速增长,意味着CO₂排放仍将增加。中国提出的GDP碳强度目标与发达国家碳减排目标就降低碳排放来说是一致的,但二者有本质区别。发达国家是减少碳排放的绝对量,与GDP增长没有直接关系;而中国GDP碳强度

^① 根据林伯强等(2010)的预测,如果将2020年的CO₂排放设为84亿吨,相对应的GDP和就业尚在可以接受的范围内,但进一步降低CO₂排放量就可能带来中国现阶段经济社会不能承受的成本。

目标与 GDP 直接相关,达到某个 GDP 碳强度目标,可以通过减少碳排放、或提高 GDP、或两者同时实施来实现。因此,中国的低碳经济发展是以保证现阶段经济增长和城市化进程为前提的。我们可以在保证一定的 GDP 增长速度的前提下,通过适当控制城市化速度、提高能源效率(节能)来降低能源强度以减少能源消费量的增长和减少碳排放,也可以通过调整能源结构(增加清洁能源所占的比重)来降低既定能源消费总量下的碳排放。

本文研究的政策含义有几个方面。首先,在气候问题谈判中,中国必须强调城市化进程的阶段性问题,应当让国际社会理解,其目前所处的经济发展阶段从根本上决定了其碳排放将持续大幅度增加,发达国家早已走过了城市化工业化阶段,两者在同一时刻不具可比性。而且,由于国际贸易分工,中国替发达国家生产了大量的高碳含量产品,年转移碳排放高达 10 亿吨(Lin & Sun, 2010)。

其次,从现在到 2020 年,是中国进入中等收入国家行列的一个关键时期。为了保证经济发展阶段转换的完成,中国的碳减排应该是一个渐进性的自我约束,因为强制性碳减排将会影响中国的经济增长和社会稳定,延缓中国进入中等收入国家的时间。减排的自我约束就是政府选择现阶段中国从经济发展、社会和谐等各方面可以承受的能源结构和能源成本。

再次,现阶段中国的碳减排政策和战略都不能脱离阶段性社会发展规律。城市化的人口转移对能源和碳排放的冲击是明显的,政府可以通过适当控制城市化速度,并且把城市化进程作为低碳发展的机会来控制碳排放增长速度。还可以通过制定和执行积极的能源政策,使城市化进程中的能源效率提高、能源结构更为清洁。此外,城市化进程也是一个选择生活方式的过程,而生活方式直接影响能源消费,通过政策引导来提倡节能生活方式,也是中国可持续发展的一个重要方面。

最后,中国必须在经济增长和城市化进程中尽量实现碳减排,这就是低碳转型的基本意义。除了适当控制城市化速度,低碳发展可以通过节能和改变能源结构实现,转型战略的选择应该是:节能为主,发展清洁能源为辅。

参考文献

- 蔡 等, 2008:《经济发展方式转变与节能减排内在动力》,《经济研究》第 6 期。
- 陈诗一, 2009:《能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展》,《经济研究》第 4 期。
- 国务院发展研究中心课题组, 2009:《全球温室气体减排:理论框架和解决方案》,《经济研究》第 3 期。
- 何晓萍等, 2009:《中国城市化进程中的电力需求预测》,《经济研究》第 1 期。
- 李善同等, 2005:《中国经济增长潜力与经济增长前景分析》,《管理世界》第 9 期。
- 林伯强, 2003:《项目评估中的风险分析:应用和主要问题》,《金融研究》第 11 期。
- 林伯强等, 2007:《中国长期煤炭需求:影响与政策选择》,《经济研究》第 2 期。
- 林伯强等, 2009a:《中国城市化进程中的能源需求和消费结构预测》,厦门大学中国能源经济研究中心工作论文。
- 林伯强等, 2009b:《中国二氧化碳的环境库兹涅兹曲线预测及影响因素分析》,《管理世界》第 4 期。
- 林伯强等, 2010:《节能和碳排放约束下的中国能源结构战略调整》,《中国社会科学》第 1 期。
- 刘霞辉: 2003:《论中国经济的长期增长》,《经济研究》第 5 期。
- 涂正革, 2008:《环境、资源与工业增长的协调性》,《经济研究》第 2 期。
- 王小鲁等, 2009:《中国经济增长方式转换和增长可持续性》,《经济研究》第 1 期。
- 王锋等, 2010:《中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究》,《经济研究》第 2 期。
- 韦保仁, 2007:《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。
- 张红凤等, 2009:《环境保护与经济发展双赢的规制绩效实证分析》,《经济研究》第 3 期。
- 中国经济增长与宏观稳定课题组, 2009:《城市化、产业效率与经济增长》,《经济研究》第 10 期。
- Bo qiang Lin, Chuan wang Sun, 2010, "Evaluating Carbon Dioxide Emissions in International Trade of China", *Energy Policy*, 38(1), PP. 613—621.

Bo qiang Lin, Jiang hua Liu, 2010, "Estimating Coal Production Peak and Trends of Coal Imports in China", *Energy Policy*, 38(1), PP. 512—519.

Christopher Yang, David McCollum, Ryan McCarthy, Wayne Leighty, 2009, "Meeting an 80% Reduction in Greenhouse Gas Emissions from

- Transportation by 2050: A Case Study in California”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 14, Issue 3, May, PP. 147—156.
- David McCollum, Christopher Yang, 2009, “Achieving Deep Reductions in US Transport Greenhouse Gas Emissions: Scenario Analysis and Policy Implications”, *Energy Policy*, Vol. 37, Issue 12, December, PP. 5580—5596.
- David L. Greene, Sanjana Ahmad, 2005, “Costs of U.S. Oil Dependence: 2005 Update”, working paper.
- Engle, R. F. and Granger C. W. J, 1987, “Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing”, *Econometrica*, Vol. 55, PP. 251—276.
- IEA, World Energy Outlook (2008).
- Johansen S., 1988, “Statistical Analysis of Cointegration Vectors”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 12, PP. 231—254.
- Johansen S. and Juselius K., 1990, “The Full Information Maximum Likelihood Procedure for Inference on Cointegration With Application to the Demand for Money”, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 52, PP. 169—210.
- Juan Antonio Duro, Emilio Padilla, 2006, “International Inequalities in Per Capita CO₂ Emissions: A Decomposition Methodology by Kaya Factors”, *Energy Economics*, Volume 28, Issue 2, March, PP. 170—187.
- Jyoti Parikh, Vibhooti Shukla, 1995, “Urbanization, Energy Use and Greenhouse Effects in Economic Development: Results from a Cross-national Study of Developing Countries”, *Global Environmental Change*, Vol. 5, Issue 2, May, PP. 87—103.
- Yaobin Liu, 2009, “Exploring the Relationship Between Urbanization and Energy Consumption in China using A RDL (autoregressive distributed lag) and FDM (factor decomposition model)”, *Energy*, Vol. 34, Issue 11, November, PP. 1846—1854.
- 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.

China’s Carbon Dioxide Emissions under the Urbanization Process: Influence Factors and Abatement Policies

Lin Boqiang and Liu Xiyang

(China Centre for Energy Economics Research, Xiamen University)

Abstract: China is in its urbanization stage. As the largest carbon emission country both in term of quantity and incremental, China faces increasing international pressure in carbon reduction. However, its urbanization development stage makes carbon emission reduction very difficult and the abatement policies for the current development stage become very urgent. In view of the characters reflected in China’s current urbanization stage and China’s birth control policy, this article makes some amendments of Kaya identity by introducing the effect of urbanization to study the factors affecting carbon dioxide emissions in the current development stage, and therefore has practical policy implications. The long term equilibrium relationship between carbon dioxide emissions and explanatory variables is studied by the method of cointegration. Applying Monte Carlo simulation, we provide a dynamic explanation and forecast of China’s carbon dioxide emission growth as well as its distribution based on the assumed probability distributions for each explanatory variables. For China, the more realistic and feasible means to reduce carbon dioxide emissions are controlling pace of urbanization process and utilize urbanization as a process for energy conservation, reducing energy intensity (by energy conservation) and improving energy structure (by increasing the proportion of clean energy in the energy structure). Strategically, China’s low carbon transition will rely mainly on energy conservation, while clean energy development subsidiary.

Key Words: Urbanization; Carbon Dioxide Emissions; Energy Intensity; Energy Structure

JEL Classification: O18, Q43

(责任编辑：晓喻) (校对：昱莹)