

节能和碳排放约束下的 中国能源结构战略调整^{*}

林伯强 姚 昕 刘希颖

摘 要：经济发展和能源需求的阶段性特征、节能减排的基本国策以及气候变暖和温室气体减排的制约，都要求中国能源战略，尤其是能源结构战略，进行相应调整。以往中国的能源战略规划主要是从能源储备和能源生产，即能源供给侧来考虑满足能源需求问题。为了应对气候变化，中国能源结构战略亟待调整。要从供给和需求双侧管理来考虑满足能源需求问题，要将二氧化碳排放作为满足能源需求的一个约束。建立优化模型，得到反映节能和排放约束下的最优能源结构，进而通过可计算一般均衡模型，评估能源结构变化导致的能源成本增加对宏观经济的影响，结果表明：政府的可再生能源规划对二氧化碳减排具有重要的正面影响，但二氧化碳排放约束改变能源结构导致的能源成本增加，对宏观经济具有一定的负面影响。因为中国许多重要行业对煤炭和火电的依赖程度依然很高，所以，现阶段通过改变能源结构减排的空间不大，应该重视其他方面的节能减排努力。

关键词：能源需求 二氧化碳排放 能源结构 宏观经济

作者林伯强，经济学博士，厦门大学中国能源经济研究中心教授（厦门 361005）；姚昕、刘希颖，厦门大学中国能源经济研究中心在读博士生（厦门 361005）。

一、引 言

中国的一次能源结构以煤炭为主。近年来，虽然对水电及其他可再生能源的利用有所增加，但是煤炭消费在能源结构中的比重依然过高。2007年，在中国一次能源结构中，煤炭消费所占比重高达69.46%，石油消费比重为20.12%，天然气消费比重为3.34%，核电所占比重仅为0.76%。印度的能源结构同样以煤炭为主，但煤炭消费所占比重较中国低，为51.43%，美国和日本的比例都还不到25%，详见表1。

在能源结构上，发展中国家的选择极为有限。提高经济竞争力和促进经济增长需要廉价能

* 本文是国家发展和改革委员会规划司“十二五能源发展战略研究”课题成果，并受到长江学者科研配套经费的支持。感谢匿名审稿人提出的中肯意见。

一次能源包含商品能源和非商品能源，中国的非商品能源发展也有着很大的潜力。（潘家华：《防止新能源发展非理性“跃进”》，《中国证券报》2009年6月15日）但基于数据原因，本文的研究将主要围绕商品能源。

国家统计局：《2007年国民经济和社会发展统计公报》。

英国石油公司：《BP能源统计2007》。

源作为支撑，减轻社会负担也需要廉价能源。政府对能源的价格管制就很说明问题，尽管价格管制产生了许多问题。中国经济快速发展需要大量廉价能源，煤炭的资源 and 价格优势使其成为首选，以煤为主是中国能源结构的主要特征。煤炭相对来说最便宜，但是，它的二氧化碳排放也最多。以发电为例，单位发电燃烧煤炭产生的二氧化碳是石油的 1.3 倍。

表 1 2007 年世界主要国家能源结构比较 (%)

	石油	天然气	煤炭	核能	水电及其他
美国	39.94	25.23	24.29	8.14	2.41
日本	44.24	15.69	24.22	12.20	3.65
印度	31.78	8.95	51.43	0.99	6.85
中国	20.12	3.34	69.46	0.76	6.32

资料来源：中国数据根据国家统计局：《2007 年国民经济和社会发展统计公报》数据整理得到，其他国家数据根据英国石油公司：《BP 能源统计 2007》数据整理得到。

中国未来的经济发展与能源结构战略，除了要符合自身经济发展的阶段性特征外，还将受到气候变暖和温室气体减排的约束。荷兰环境评估局 (Netherlands Environmental Assessment Agency) 二氧化碳排放评估报告表明：2007 年，中国的二氧化碳排放总量达到 67.2 亿吨，占世界排放总量的 24.3%，超过美国，成为全球最大的二氧化碳排放国。中国的二氧化碳排放不仅是总量大，增量也很大。2007 年中国的二氧化碳排放总量是 2000 年的两倍，占同期世界排放增量的 64%。尽管 2008 年的金融危机对短期经济产生了很大影响，但中国经济发展势头良好，能源需求与排放将继续增长。在应对气候变化问题上，中国的国际压力将日益增大。即使中国不对外承诺减排，也必须进行自我约束。在未来的经济增长过程中，中国的能源消费将受到二氧化碳排放约束。

尽管世界各国对控制全球排放总量进行了多轮对话，但目前的国际减排合作仍然无法解决问题，其根本原因就在于对各国的排放权利与减排责任无法达成共识，为解决谁来减排和减排多少而相互指责，争论不休。从技术的可行性看，除了发展清洁能源，“碳捕获”和“碳储存”技术 (Carbon Capture and Storage, 简称 CCS) 是目前比较可行的解决办法。但是，目前的“碳捕获”技术至少存在三个问题：成本高昂；耗能量大；储存空间大。高昂的成本，即使发达国家可以承受，发展中国家也无法容忍。除了技术本身风险高、成本大，“碳捕获”还将加速能源短缺，进一步推高能源价格和成本。发展中国家之所以选择以煤为主的能源结构，就是因为煤炭价格便宜。因此，除非有实质性的技术突破，降低“碳捕获”成本，否则，“碳捕获”就不具备可行性。而且，需要指出的是，解决二氧化碳排放问题，重点应当是在经济发展中减少能耗，而不是耗能之后再去做减排问题。

中国政府一直在积极对待二氧化碳减排问题，批准加入了包括《京都议定书》在内的多个国际公约。2007 年，正式公布第一部应对气候变化的科学评估报告——《气候变化国家评估报告》。

林伯强、王峰：《能源价格上涨对中国一般价格水平的影响——基于投入产出价格影响模型和递归的 SVAR 模型的研究》，《经济研究》2009 年第 12 期。

林伯强、蒋竺均：《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》2009 年第 4 期。
<http://www.pbl.nl/nl/publicaties/mnp/2008/index.html>

林伯强、蒋竺均：《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》2009 年第 4 期。
 IEA, *Near-Term Opportunities for Carbon Dioxide Capture and Storage*, Paris: OECD, 2007; IEA, *CO₂ Capture and Storage: A Key Carbon Abatement Option 2008*, Paris: OECD, 2008.

该报告提出，在未来经济发展过程中，要使国内生产总值的碳排放强度较大幅度地持续下降；到本世纪中叶，争取实现碳排放量的“零增长乃至负增长”。同年，国家发展和改革委员会公布了《可再生能源中长期发展规划》。2009年6月，国家能源局公布了新能源规划的基本框架，内容涉及中国新能源的现状与面临的形势、新能源规划的目标及政策保障措施等。这些都表明，中国政府决心进一步推进能源结构转变。通过核电、水电和其他可再生能源的进一步开发利用，降低能源资源（指化石能源）压力，提高能源利用效率，减轻环境压力。林伯强和蒋竺均研究发现，通过调整一次能源结构，减少二氧化碳排放是有效的。即使中国要保持适度的经济增长速度，也可以通过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。积极推进能源结构改变，实际就是排放的自我约束，就是选择一个现阶段经济发展可以接受的能源结构和能源成本。

中国经济正处于以资源密集开采和快速消耗为特征的城市化和工业化加速进程中，能源资源的有限性与经济增长的可持续性之间的矛盾日趋尖锐。在2009年9月的联合国气候变化峰会上，中国政府提出，争取到2020年，单位国内生产总值二氧化碳排放量，即国内生产总值的碳排放强度，比2005年有显著下降。相对于能源强度而言，碳排放强度也受能源效率影响，但主要受能源结构的影响，因此，是一个能源质量，即清洁能源在能源结构中的比例问题。与能源强度一样，碳排放强度还受宏观因素的影响，包括经济发展阶段、产业结构、技术水平、能源和环境政策，等等。从能源强度到碳排放强度的目标约束变化，体现了中国能源政策将面临一个战略性转变，即从“十一五”时期以提高能源利用效率为主，转变为将气候变化因素作为约束目标，引入能源结构战略规划。

任何积极的能源和环境政策都将有助于降低碳排放强度，但是，对于中国现阶段来讲，如果清洁煤技术不能大规模商业化推广，降低碳排放强度的关键，就是改变以煤为主的能源结构。降低能源强度，强调的是在一定的经济生产总量基础上，减少能源使用总量。但是，能源强度的降低，并不必然意味着碳排放强度的降低。原因在于，各种能源资源的碳排放系数不尽相同，即使能源利用效率提高，但如果更多、更集中地采用高排放的化石能源，如煤炭，带来的依旧是单位国内生产总值碳排放量的增加，而非降低。中国政府提出，“如果能在‘十一五’期间实现节能20%，就相当于实现15亿吨二氧化碳减排”，也是相对于某个假定能源结构而言的，如果该假定能源结构中煤炭比例增加了，随着其所带来的碳排放量增加，其所带来的能源强度降低对于二氧化碳减排的影响就会大打折扣。

能源战略调整最终体现在对一次能源结构的选择。在国际学界关于一次能源结构的研究中，Nordhaus, Houthakker 和 Solow 的文章首先建立了分部门研究能源消费的框架，随后的文章都

国内生产总值的碳排放强度，是指一国在一定时期内，二氧化碳排放量与国内生产总值的比，即单位国内生产总值的二氧化碳排放量。

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

国家发展和改革委员会：《可再生能源中长期发展规划》，2007年。

林伯强、蒋竺均：《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》2009年第4期。

林伯强、何晓萍：《中国油气资源耗减成本及政策选择的宏观经济影响》，《经济研究》2008年第5期。

能源强度，是指一国在一定时期内，一次能源消费量与国内生产总值的比，即单位国内生产总值的一次能源消费量。

B. W. Ang, "Is the Energy Intensity a Less Useful Indicator Than the Carbon Factor in the Study of Climate Change?" *Energy Policy*, vol. 27, 1999, pp. 943-946.

是在这个基础上发展而来的。Mar 和 Bakken 将经典控制论的思想引入能源—经济模型, 分析了一次能源结构的变化。Symons, Proops 和 Gay 模拟了英国不同碳税和消费者需求下的二氧化碳排放, 同时得到不同的能源消费组合。Chakravorty, Roumasset 和 Tse 分析美国能源替代问题时引入了气候变化的概念, 但其相关新能源仅考虑了太阳能; Gabriel, Kydes 和 Whitman 在美国能源部的 NEMS 模型基础上利用 Gauss-Seidel 方法得出更精确的美国一次能源结构。随后 Azar, Lindgren 和 Andersson 基于单个交通部门讨论了二氧化碳排放约束下的燃料替代; Lu, Lewis 和 Lin 预测了中国台湾地区未来公路交通部门的能源消费组合。Tol 建立了一个宏观模型, 讨论 IPCC 各种情形下美国的碳排放以及相应的能源结构。而 Chandler 则从可持续能源组合标准的概念出发, 研究了美国电力部门消费能源多样化的问题。

国内相关研究起步相对较晚, 陈文颖和吴宗鑫从能源系统工程的角度, 利用 MARKAL 模型进行了分析, 从技术角度预测了一次能源结构。管卫华等与林伯强和蒋竺均分别基于系统动力学和马尔科夫链方法对能源结构进行了预测。

国内外的相关研究主要存在以下两个问题: 一是, 没有充分考虑节能以及二氧化碳排放对能源结构的影响和约束; 二是, 即使考虑了排放约束, 也仅从能源工程技术角度进行分析, 未考虑具体的约束对宏观经济的影响, 以及对社会经济承受能力的考验。林伯强、牟敦国利用 CGE 模型研究发现, 中国煤炭价格上涨对宏观经济的冲击很大, 这是由于煤炭在一次能源消费中比重很大。^⑩ 未来中国一次能源结构的变化, 必然要受到气候变暖和温室气体减排的制约, 煤

W. Nordhaus, H. Houthakker and R. Solow, "The Allocation of Energy Resources," *Brookings Papers on Economic Activity*, no. 3, 1973, pp. 529-576.

B. Mar and O. Bakken, "Applying Classical Control Theory to Energy-Economics Modeling—A Tool to Explain Model Behavior in Response to Varied Policy Decisions and Changing Inputs," *Management Science*, vol. 27, no. 1, 1981, pp. 81-92.

E. Symons, J. Proops and P. Gay, "Carbon Taxes, Consumer Demand and Carbon Dioxide Emissions: A Simulation Analysis for the UK," *Fiscal Studies*, vol. 15, no. 2, 1994, pp. 19-43.

U. Chakravorty, J. Roumasset and K. Tse, "Endogenous Substitution among Energy Resources and Global Warming," *Journal of Political Economy*, vol. 105, no. 6, 1997, pp. 1201-1234; S. Gabriel, A. Kydes and P. Whitman, "The National Energy Modeling System: A Large-Scale Energy-Economic Equilibrium Model," *Operations Research*, vol. 49, no. 1, 2001, pp. 14-25.

C. Azar, K. Lindgren and B. Andersson, "Global Energy Scenarios Meeting Stringent CO₂ Constraints—Cost-effective Fuel Choices in the Transportation Sector," *Energy Policy*, vol. 31, no. 10, 2003, pp. 961-976; I. Lu, C. Lewis and S. Lin, "The Forecast of Motor Vehicle, Energy Demand and CO₂ Emission from Taiwan's Road Transportation Sector," *Energy Policy*, vol. 37, no. 8, 2009, pp. 2592-2961.

R. Tol, "Carbon Dioxide Emission Scenarios for the USA," *Energy Policy*, vol. 35, no. 11, 2007, pp. 5310-5326.

J. Chandler, "Trendy Solutions: Why Do States Adopt Sustainable Energy Portfolio Standards?" *Energy Policy*, vol. 37, no. 8, 2009, pp. 3274-3281.

陈文颖、吴宗鑫:《未来中国的 SO₂ 和 CO₂ 排放控制对策》,《清华大学学报(自然科学版)》2002 年第 10 期。

管卫华等:《中国能源消费结构的变动规律研究》,《自然资源学报》2006 年第 3 期; 林伯强、蒋竺均:《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》2009 年第 4 期。

^⑩ 林伯强、牟敦国:《能源价格对宏观经济的影响: 基于可计算一般均衡 (CGE) 的分析》,《经济研究》2008 年第 11 期。

炭在一次能源中的比例将会逐步降低，但这一变化必然增加能源成本，从而对宏观经济产生影响。基于以上考虑，本文拟对排放约束下的最优一次能源结构及其宏观经济影响展开研究，希望能得出对今后中国能源和环境决策相关的建设性结论和意见。

本文其余部分结构安排如下：第二部分，提出能源战略调整问题，建立调整优化模型，确定模型的参数以及约束条件。第三部分，讨论能源战略调整的能源结构选择，根据模型求得不同排放约束情形下的最优一次能源结构。第四部分，应用可计算一般均衡模型估计能源结构变化的宏观经济影响。第五部分，是结论和政策建议。

二、中国能源战略调整模型

考虑节能减排(能源需求侧管理)和二氧化碳排放约束的中国能源战略调整模型概括如图 1。

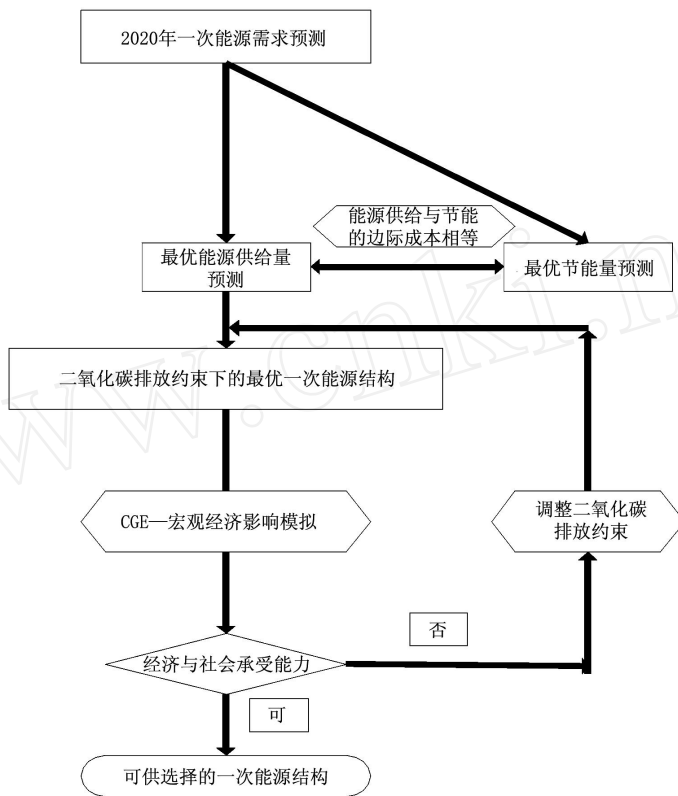


图 1 中国能源结构战略调整模型示意图

如图 1 所示，本模型的优化过程分为两个阶段。第一阶段考虑节能因素求出最优能源供给量，第二阶段根据最优能源供给量和排放约束得到最优一次能源结构。

第一阶段最优能源供给量模型设定如下：能源投入是经济增长不可或缺的部分。假设未来中国经济需要能源消费总量 Q_i ，并考虑节能因素对能源真实消费的影响，得到公式 (1)：

$$Q_i = Q^* - Q_c = Q_s \tag{1}$$

其中： Q^* 为能源需求量， Q_c 为节能量， Q_s 为能源供给量（包括进口）。

本文不再仅仅从能源供给侧，而是结合能源需求侧管理，来考虑满足能源需求问题。以往的能源结构预测，一般是先确定某期间的能源需求，而后根据能源资源生产储备状况，确定能

源投资、供给和结构。当然，以往研究也涉及节能问题，包含需求侧管理。但是，节能不是约束条件，能源战略调整之一就是节能作为一个约束。可以通过选择能源供给投入或节能投入，使满足同样数量能源需求的成本最小化。据此，由公式（1）导出公式（2）：

$$Q^* = Q_c + Q_s \quad (2)$$

公式（2）表示：能源需求量 = 节能量 + 能源供给量。该式虽然看上去很简单，但有很强的政策含义。在能源需求量既定和资金量有限时，要保证多少能源供给和节能多少，取决于投入。也就是说，资金既可以投向能源生产（进口），也可以投向节能。那么，有多种政策组合可供选择。如果将更多资金投入节能，节能量就提高，但是能源生产投入相应减少。那么，优化目标就是，选择在满足能源需求的同时使投资成本最小化的能源供给和节能组合，即公式（3）：

$$\frac{\partial C(Q_c)}{\partial Q_c} = \frac{\partial C(Q_s)}{\partial Q_s} \quad (3)$$

其中： $C(Q_c)$ 是节能成本函数， $C(Q_s)$ 是能源供给成本函数。公式（3）表示，对于最后一单位投入的边际成本，能源供给（生产和进口）和节能的边际成本相等。式（3）的主要政策含义是，政府可以通过选择能源供给投入和节能投入，使满足能源需求的成本最小化。其经济含义是，在满足一定能源需求的前提下，使所需投入的社会成本最小化。因此，政府投入和公共政策如何引导资金流向，对投入选择至关重要。

第二阶段最优一次能源结构模型设定如下：模型将能源归为 7 种，其中的煤炭、石油、天然气为有排放的能源，水电、核电、风电、太阳能及其他视为无排放的能源。以最小化能源消费的社会总成本为目标，以排放为约束，建立最优化模型，以获取 2020 年最优一次能源结构。

目标函数如下：

$$\text{Minimize } C = \sum_{i=1}^7 P_i Q_i \quad i = 1, 2, \dots, 7 \quad (4)$$

其中： C 为能源消费总成本； P_i 为第 i 种一次能源消费价格； Q_i 为第 i 种一次能源消费量； i 表示 7 种能源产品，包括煤炭、石油、天然气、水电、核电、风电、太阳能及其他。

在以往的能源战略中，减排目标主要针对二氧化硫、粉尘和氮氧化物等，没有明确包括二氧化碳，但真正能够影响能源结构的是二氧化碳排放。因此，战略调整之二是改变仅受资源约束的能源供需增长和能源结构战略规划，将二氧化碳排放作为满足能源需求的约束，即对公式（1）得出的能源供给量加上二氧化碳排放约束。由此得到公式（5）：

$$E^* = \sum_{i=1}^7 \alpha_i Q_i \quad (5)$$

其中： α_i 为各种能源的排放系数； β_i 为各种能源的转化率； E^* 为施加于能源供给量的二氧化碳排放约束，即煤炭、石油和天然气等燃烧排放的二氧化碳等于各自的消费量乘以转化率，再乘以二氧化碳排放系数。

事实上，现在之所以推动核电和风电等清洁能源的发展，主要是针对二氧化碳减排。公式（5）就是对公式（2）的能源供给量 Q_s 设定二氧化碳排放约束。对于特定的二氧化碳约束量，有相对应的能源结构。比如说，如果要在 2020 年将二氧化碳排放控制在 85 亿吨，那么对应于 85 亿吨排放会有一个相对应的能源结构，据此可计算需要多少煤炭、核电和风电及水电等。对

从国家能源宏观战略规划角度进行考虑，我们采用了相对简化的模型，同时考虑供需双方的均衡模型应当更为精确，这也是研究进一步需要改进的地方。

显然，由于技术和工艺的不同，同样的化石能源消费也会产生不同的排放，在这里我们进行了适当简化，今后的研究可以结合对技术进步的动态性考虑进行改进。

应于不同的二氧化碳排放约束量，就会出现不同的能源结构。

一般说来，二氧化碳排放约束越紧，煤炭在一次能源结构中的比例越低，油气保持稳定，核、风和太阳能等新能源的比例则不断上升。各类能源中煤炭最廉价但排放最大，如果使用价格较高的清洁能源取代传统的煤炭，这样的一次能源结构转变，必然存在经济成本。能源结构不同，意味着能源成本不同，越清洁的能源结构，成本越高。因此，需要分析在二氧化碳排放约束下的一系列能源结构以及相应的经济成本，考虑其成本是否可接受。

根据得到的一系列能源结构和相对应的一系列能源成本，通过构建可计算一般均衡模型 (CGE)，分析其对宏观经济的影响，得到可以接受的能源结构。通过比较 CGE 的模拟结果，分析特定的能源结构对 GDP 增长、就业、进出口等宏观经济因素的影响，再考虑社会经济的承受能力，即可确定某一可接受的能源结构，从而求出某个二氧化碳排放约束下的最优一次能源消费组合，即最优能源结构，如公式 (6)：

$$Q_E = \text{Com}(Per_1, \dots, Per_n, E^*, Q_S^*) \quad (6)$$

其中： Q_E 指最优一次能源结构， Per_i 指第 i 种一次能源占整个能源消费的比例，公式 (6) 最终求得的最优能源结构，是在能源供给为 Q_S^* 、排放为 E^* 的情况下，各种一次能源在能源总量中所占的比重组合。

在具体分析中，煤炭、石油、天然气价格是根据美国能源信息署 (Energy Information Administration, 简称 EIA) 《Annual Energy Outlook 2007》中预测的数据折算的；火电价格是目前平均上网电价根据煤炭价格变化调整后得到的；水电价格保持稳定，按目前平均上网电价来算；核电价格按秦山二期技术计算，再加上未来铀价变化调整；风电价格来自预测的平均上网电价加上电网相关接入成本；太阳能及其他价格，考虑技术进步因素取太阳能 2008 年上网电价的四分之一。

相对准确的能源需求是一切能源战略研究的起点，能源需求预测应符合经济增长的阶段性特征。中国经济发展正处于城市化和工业化阶段，此阶段对能源的需求是刚性的。城市化是推动中国经济增长和能源需求的主要动力。林伯强、蒋竺均采用协整方法估计了城市化进程中的中国一次能源需求的长期均衡关系，该模型考虑了 GDP、产业结构、城市化水平和能源价格等因素。本文的能源需求 Q^* 是根据其模型采用中等 GDP 增长率情形预测得到的。

关于预测中国未来节能量的文章较多，如史丹、魏一鸣等、韩亚芬和孙根年都基于各自假设，对中国的节能潜力进行了预测。但这些文章均未涉及节能需要付出的成本，未能满足本文

本文关于二氧化碳排放约束没有考虑国际碳交易，进一步研究可以在全球减排背景下，将碳交易和价格问题纳入研究框架。

Q_S^* 是根据公式 (1) - 公式 (3) 求得最优能源供给量。

EIA, *Annual Energy Outlook 2007*, the U. S. Government Printing Office, 2007.

铀价设定情形来自彭新建等：《国际天然铀价格走势分析》，《世界核地质科学》2006 年第 3 期。

风电上网电价数据来自麦肯锡公司：《丹麦节能减排技术在华应用前景分析》，2007 年。风电接入成本来自林伯强、吴张娴：《风电接入对电网投资的影响》，2009 年厦门大学中国能源经济研究中心工作论文。

太阳能的价格由于技术因素预测很多，没有比较权威的定论，我们根据太阳能成本的历史数据和发展现状，采取了 2010—2015、2016—2020 年每阶段降低 50% 的假设。

林伯强、蒋竺均：《中国城市化进程中的一次能源需求预测》，2009 年厦门大学中国能源经济研究中心工作论文。

史丹：《中国能源效率的地区差异与节能潜力分析》，《中国工业经济》2006 年第 10 期；魏一鸣等：

式 (2)、式 (3) 的要求。基于数据的可获得性及方法运用上的问题, 本文节能量 Q_c 的计算, 是根据国家能源领导小组办公室 2007 年的节能估算报告来做的, 该报告中考虑了成本及技术实现等多个方面, 相对于其他的估算, 我们认为该预测值更接近实际。因此, 本文利用该节能估算方法, 计算出 2020 年的节能量为 6.02 亿吨标煤, 大约为 2020 年一次能源需求的 12.7%, 比较接近魏一鸣等利用宏观经济模型预测的节能量 (为一次能源需求的 11.4%)。

部门分析设定与 Nordhaus、Houthakker 和 Solow, Chakravorty、Roumasset 和 Tse 等研究类似, 将能源消费 Q_i 细分为电力行业中的消费及其他行业中的消费:

$$Q_i = Q^{E_i} + Q^O \quad (7)$$

其中: Q^{E_i} 为每种能源在电力行业中的消费量, 假设水能、核能和风能都必须转化为电力消耗; Q^O 为每种能源在非电力行业中的消费量。考虑到中国燃油燃气发电比例很低, 本文假设石油、天然气均在非电力行业中消费。二氧化碳排放计算除公式 (5) 的化石燃料燃烧排放之外, 还考虑水泥生产过程中碳酸钙分解排放、二次能源净出口而没在国内消费的化石燃料排放等因素。

与林伯强和蒋竺均的文章中参数设定相同, 公式 (5) 中的化石燃料中煤炭排放系数来自英国石油公司 (British Petroleum, 简称 BP); 石油和天然气排放系数来自二氧化碳信息分析中心 (The Carbon Dioxide Information Analysis Center, 简称 CDIAC); 煤炭、石油和天然气的转化率同样来自 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。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 0.37 亿吨, 对总量的影响很小。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增加, 其燃烧排放对中国二氧化碳总量的影响仍将很小, 因此在预测中忽略不计。应该注意到, 由于技术、经济、地理、安全等方面的原因, 各种能源也有其利用约束存在, 整理归纳上述假设, 得到表 2。

表 2 对于煤炭的约束, 主要是考虑到能源结构的惯性, 目前中国大量的燃煤机组和锅炉如果全部更换需要巨大的成本, 所以未来能源结构改变造成的煤炭变动只从未来增加量中体现。石油约束来自国土资源部发布的《全国矿产资源规划 (2008—2015 年)》对石油消费量的保守预

《“十一五”期间我国能源需求及节能潜力预测》,《中国科学院院刊》2007 年第 1 期; 韩亚芬、孙根年:《我国“十一五”各省区节能潜力测算》,《统计研究》2008 年第 1 期。

国家能源领导小组办公室:《能源节约重大问题研究》,2007 年。

W. Nordhaus, H. Houthakker and R. Solow, "The Allocation of Energy Resources," *Brookings Papers on Economic Activity*, no. 3, 1973, pp. 529-576.

U. Chakravorty, J. Roumasset and K. Tse, "Endogenous Substitution among Energy Resources and Global Warming," *Journal of Political Economy*, vol. 105, no. 6, 1997, pp. 1201-1234.

电力部门数据来自何晓萍等:《中国城市化进程中的电力需求预测》,《经济研究》2009 年第 1 期。

林伯强、蒋竺均:《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》2009 年第 4 期。本文的排放计算中没有考虑非商品能源, 这可能使中国减排潜力的评估产生偏差, 因此结合非商品能源建模是今后应当考虑的问题之一。

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。与前文设定相同考虑节能因素, 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 0.35 t/t。水泥消费量预测来自韦保仁:《中国能源需求与二氧化碳排放的情景分析》,北京:中国环境科学出版社,2007 年。

根据国家统计局:《中国统计年鉴 2008》(北京:中国统计出版社,2008 年)中焦炭出口数据计算得到。

测，天然气约束来自中国石油天然气规划总院 2005 年的预测。

表 2 一次能源利用约束

一次能源	2020 年
煤 炭	不低于 18.41 亿吨标煤
石 油	不低于 7.15 亿吨标煤
天然气	不超过一次能源 10 %
水 电	装机不超过 3.3 亿千瓦
核 电	装机不超过 9000 万千瓦
风 电	不超过电力的 10 %

截至 2007 年底，中国已建成水电装机容量 1.48 亿千瓦。根据国家电网公司北京经济技术研究院《能源基地建设及电力中长期发展规划研究》中的数据，中国水电的经济可开发量为 4.02 亿千瓦，剩余 2.54 亿千瓦。考虑到水电项目工期长、环境评价复杂，结合国外主要水电利用国家发展速度，参考国家发展和改革委员会公布的《可再生能源中长期发展规划》，我们将水电约束上限设为 3.3 亿千瓦。

我们认为国家发展和改革委员会目前要求 2020 年力争达到核电装机 8000 万千瓦，可能比较合乎中国的核电发展现状。相比美国、日本和法国的核电高速发展时期，中国核电发展的规划规模和时间都有所超越。从 1980 年到 1990 年，美国发展了 4782 千瓦核电，日本 1381 千瓦，法国 3810 千瓦。相比之下，中国的“后发展”有技术成熟程度和工程建设进度上的优势，也面临改变能源结构的迫切性。因此，考虑到核电的竞争性和日益增加的应对气候变化的压力，本文进一步将 2020 年核电最大装机容量设为 9000 万千瓦。

根据中国第二次风能资源普查的结果，可开发和利用的陆地上的风能储量为 2.53 亿千瓦，近海可开发和利用的风能储量为 7.5 亿千瓦，共计约 10 亿千瓦。风电约束来自麦肯锡公司 (McKinsey & Company)《丹麦节能减排技术在华应用前景分析》报告。该报告认为，由于风能发电不稳定，从电网安全角度考虑，风能发电的电量比例一般不能超过总发电量的 10%。丹麦、德国等国可以超过这一比例，主要原因在于欧洲庞大的联网电网支撑和比较好的风能品质。

三、能源战略调整的能源结构选择

对于特定能源需求，节能量和二氧化碳排放量，有相对应的能源结构，根据式 (1) - 式 (5) 可以计算出成本最小的一次能源结构，所得结果均采用 GAMS22.1 软件编程计算得到。根据国家能源领导小组办公室的方法估算的节能量，如果按时完成国家发展和改革委员会的《可再生能源中长期发展规划》，中国 2020 年一次能源结构相对应的二氧化碳排放为 90 亿吨。该规

国土资源部：《全国矿产资源规划（2008—2015 年）》，2009 年。

中国石油天然气规划总院，http://news.xinhuanet.com/newscenter/2005-05/24/content_2997655.htm。

国家统计局：《中国能源统计年鉴 2008》，北京：中国统计出版社，2008 年。

国家电网公司北京经济技术研究院：《能源基地建设及电力中长期发展规划研究》，2007 年。

BP, *BP's Statistical Review Of World Energy Full Report 2009*, 2009.

胡锦涛：《携手应对气候变化的挑战》，2009 年 9 月 22 日在联合国气候变化峰会上的讲话。

麦肯锡公司：《丹麦节能减排技术在华应用前景分析》，2007 年。

划中 2020 年的水电装机容量将达到 3 亿千瓦，核电装机将达到 0.6 亿千瓦，风电装机将达到 1 亿千瓦，水、核、风、太阳能及其他可再生能源占到一次能源结构的 16%，其余一次能源结构比例采用林伯强和蒋竺均的估计。作为对比参考，我们还计算了另外两种情形：无规划约束和完成规划 90% 的情景；无规划情景指不受国家可再生能源规划约束，按照目前的能源结构惯性增长，而完成规划 90% 的情景指完成国家发展和改革委员会规划量的 90%。这两种情况的排放分别为 94.7 亿吨和 91.6 亿吨。其余的以 90 亿吨排放为起点，进一步减低二氧化碳排放量至 84 亿吨，我们可以得到相应的一次能源结构如表 3。

表 3 二氧化碳排放约束下的 2020 年一次能源结构

排放 (亿吨)	煤 (%)	石油 (%)	天然气 (%)	水力 (%)	核 (%)	风 (%)	太阳能及其他 (%)
94.7 (无规划)	68.7	14.2	5.5	8.0	2.2	0.8	0.6
91.6 (完成规划 90%)	64.8	15.0	5.9	8.3	3.2	1.5	1.3
90.0 (完成规划)	60.5	17.3	6.2	9.2	3.6	1.7	1.5
88.0	59.3	17.3	6.2	10.1	3.9	1.7	1.5
86.0	56.8	17.3	7.1	10.1	5.4	1.7	1.5
84.0	53.2	17.3	10.0	10.1	5.4	2.5	1.5

至 2020 年，中国中长期能源需求的两大基本特征不会改变，即增长较快和以煤为主的一次能源结构。但是，不同的一次能源结构相对应的二氧化碳排放量存在很大差异。积极的可再生能源政策和规划所推动的能源战略调整，能够明显地改善能源结构，降低煤炭的消费比例，降低二氧化碳排放。表 3 说明，随着二氧化碳排放量下降，煤炭在一次能源结构中的比例在不断下降，油和水电相对稳定，而天然气、核、风等新能源的比例大幅度上升。总的来看，排放约束从无规划的 94.7 亿吨下降到 84 亿吨时，煤炭从占一次能源结构 68.7%，下降到 53.2%；相应的水电上升到 10.1%，核能上升到 5.4%，风能上升到 2.5%，太阳能及其他上升到 1.5%，一次能源中的清洁能源总计可以占到总能源消费的 19.5%。

当二氧化碳排放从 90 亿吨下降到 88 亿吨时，水电和核电由于其经济性与清洁性替代了煤炭，水电占一次能源比例从 9.2% 上升到 10.1%，核电从 3.6% 上升至 3.9%。当排放从 88 亿吨下降到 86 亿吨时，由于水电装机已经达到 3.3 亿千瓦，核电和天然气在一次能源中的比例开始上升，分别上升至 5.4% 和 7.1%，核电则达到最高限定值的 9000 万千瓦。当排放约束从 86 亿吨继续下调至 84 亿吨时，主要是天然气和风电在一次能源中的比例上升，分别上升至 10% 和 2.5%。

总之，无论在何种排放约束情形下，煤炭占一次能源消费的比例都有大幅的下降，而水、核、风、太阳能等清洁的能源占一次能源比例均有不同程度的上升。基于资源禀赋的制约及能源安全的需要，未来中国一次能源结构仍将以煤为主，但排放限制造成的转变会使得整体经济对煤炭的依赖度下降，改变能源结构意味着降低二氧化碳排放。

但是，大幅度改变一次能源结构的进程不会一帆风顺，除了关键的成本问题，还有其他限制。实现能源结构改变后的水电开发比例 2020 年将达到 83%，根据中国水资源储量，未来可开发的余地不大，长距离输送也将增加水电成本。虽然到 2020 年，中国核电装机达到 9000 万千瓦

林伯强、蒋竺均：《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》2009 年第 4 期。即在自发状态下，根据历史数据按马尔科夫模型预测的结构，具体参见林伯强、蒋竺均：《中国城市化进程中的一次能源需求预测》，2009 年厦门大学中国能源经济研究中心工作论文。

的目标具有可行性，但速度非常快，只有 11 年的时间去发展 8000 千瓦核电。核燃料铀也是不可再生资源，按经济合作与发展组织核能署（Organisation for Economic Co-operation and Development/ Nuclear Energy Agency，简称 OECD/NEA）与国际原子能机构（International Atomic Energy Agency，简称 IAEA）《铀矿储量、生产与消费 2007》中的统计数据，2007 年全球已知天然铀经济可采储量，即开采成本低于每公斤 130 美元的铀矿理论储量为 546.9 万吨，这一数量仅可供全世界现有规模核电站（即 3.75 亿千瓦装机）使用约一百年，报告认为中国天然铀矿经济可采储量约为 68000 公吨。因此，核电的发展还受到国内铀矿储量限制，中国核电的进一步的发展要依赖于国际铀贸易。铀矿的贸易严格受 IAEA 的监控，从澳大利亚、加拿大等国进口铀矿需要涉及政治、军事等更加复杂的国际关系。因此，中国核电发展必须考虑资源的瓶颈，首先保证充足通畅的燃料，才能考虑进一步的扩大装机。虽然风能储量较大，是一个现阶段比较可能大规模开发的能源，但其对电网的影响不可忽视。太阳能目前成本还比较高，近年难以大规模开发，当然，未来清洁能源潜力可能将主要集中在太阳能发电技术的进步。

通过上述结果还可以看到，即使中国能源结构发生积极的改变，中国的排放总量也将持续维持增长状态，只是增幅会有所下降。这一结果说明了现阶段中国能源需求和二氧化碳排放的刚性，也说明了通过积极的能源政策来降低二氧化碳排放增长的可能性。

四、增加能源成本的宏观经济影响分析

能源结构不同，能源成本也不同。因此，需要分析二氧化碳排放约束下的一系列能源结构相对应的经济成本，考虑其是否可接受。本节根据表 3 的能源结构计算相对应的能源成本，而后进一步通过构建中国能源环境可计算一般均衡模型，进行不同能源成本的宏观经济影响分析。表 4 计算了不同排放约束下的能源成本变化情况。

表 4 2020 年不同一次能源结构下的能源成本变化

排放 (亿吨)	94.7	91.6	90	88	86	84
成本 (亿元)	47500	49549	50929	50794	51037	51950

表 4 说明，随着二氧化碳排放约束从无规划的 94.7 亿吨下降到 84 亿吨，能源成本整体上呈上升趋势，从 47500 亿元上升到 51950 亿元。随各种清洁能源的增加，成本的上升幅度呈现非线性递增。如果能在国家发展和改革委员会规划基础上适度增加水电比例，可以使得能源成本在二氧化碳排放从 90 亿吨下降到 88 亿吨时下降 135 亿元。当二氧化碳排放从 88 亿吨下降到 86 亿吨时，下降 2 亿吨的排放使能源成本上升了 243 亿元；而从 86 亿吨下降到 84 亿吨时，同样下降 2 亿吨的排放使能源成本增加了 913 亿元。

接下来，我们考虑能源成本上升对宏观经济产生的影响。将整个经济中所有市场联合起来考虑的研究方法称为一般均衡分析方法。市场价格充分调整，使得所有商品市场的供给与需求相等时的状态，称为一般均衡状态。20 世纪 60 年代以后，随着数据的可得性和计算机技术的发展，一般均衡分析方法向可计算化方向发展。CGE 模型在一般均衡理论框架下，明确定义了经

OECD/NEA 与 IAEA:《铀矿储量、生产与消费 2007》，2007 年。

除非重大发现，中国自身天然铀储量有限，仅有 68000 公吨，加上原料库存和资源二次循环利用，自身的资源勉强能够满足《规划》的 6000 万千瓦装机目标。

济主体的生产函数和需求函数，从而能够反映多个部门、多个市场之间的相互依赖和相互作用，揭示比部分均衡模型或宏观计量经济模型更为广泛的经济联系。第一个 CGE 模型来源于 Johansen 的著作。近些年，CGE 模型被广泛地应用于税收、国际贸易、收入分配、环境分析和能源问题的研究上，成为政策模拟与分析的重要工具。

本文在已有研究采用的 CGE 模型基础上进行了扩展，将部门合并整理成农业、轻工业、重工业、建筑业、服务业、煤炭、石油、天然气、煤电、水电、核电、风电、太阳能及可再生能源、二氧化硫减排和固体废弃物减排等 15 个，构建了中国能源—环境可计算一般均衡模型。模型采用嵌套式常替代弹性 (Constant Elasticity of Substitution, 简称 CES) 函数，来描述经济生产活动的生产函数和经济主体的效用函数。本 CGE 模型主要由五个模块构成：生产与交易、价格、机构、减排和系统约束。生产和交易模块主要描述国内外产品市场的供需情况；价格模块主要描述实物流和名义流以及各种经济指标之间的价格关系；机构模块主要定义各经济主体 (家庭、政府、企业等) 的收入和支出；减排模块定义与污染和污染控制活动相关的变量；系统约束模块主要描述 CGE 模型中的各种均衡关系。CGE 模型结构如图 2 所示。

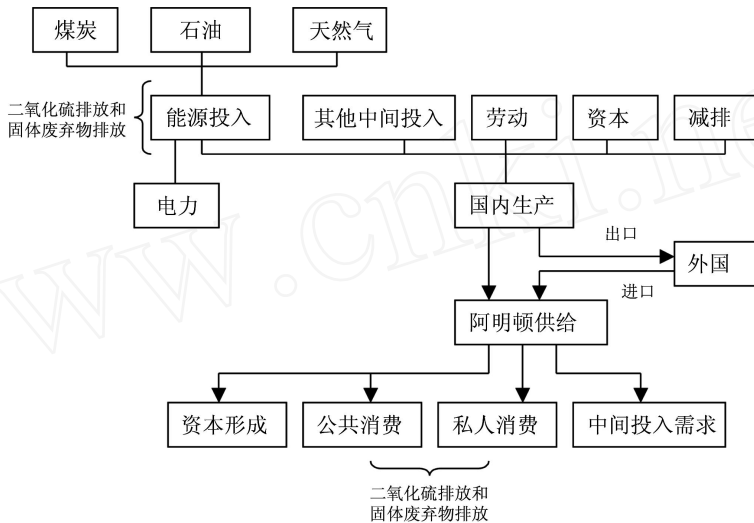


图 2 CGE 模型结构示意图

通过比较 CGE 的模拟结果，我们可以分析特定能源结构和农业成本对 GDP 增长、就业等宏观经济因素的影响，再考虑社会经济的承受能力，即可确定某一可接受的能源结构。

我们通过 CGE 模型，以国家发展和改革委员会规划完成为基准情形，对 2020 年各种排放约束下的能源结构和能源成本进行了模拟，得到的宏观经济影响如表 5 所示。

表 5 说明，随着二氧化碳排放约束收紧 (排放量下降)，对应的能源结构发生相应变化，GDP、就业等宏观经济变量都会出现不同程度的下降；单位 GDP 能耗、二氧化硫和固体废弃物排放也随之出现不同程度的下降。在开始时，对 GDP 和就业的冲击不算太大。但随着排放约束

L. Johansen, *A Multi-Sectoral Study of Economic Growth*, Amsterdam: North-Holland, 1960.

限于篇幅，本文仅给出模型变化的部分，其他相同设定请参见林伯强、何晓萍《中国油气资源耗减成本及政策选择的宏观经济影响》(《经济研究》2008 年第 5 期)。本文 CGE 模型的政策分析属于比较静态分析的范畴，相对于动态 CGE 模型仍有较大局限性，模型的合理动态化应当是今后努力的方向。

进一步收紧，对 GDP 和就业等宏观变量的影响加大，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。表 5 的模拟结果与我们的预期基本吻合。高排放的能源结构有利于 GDP 增长和就业，随着二氧化碳排放约束加强，对应的能源结构和能源成本发生变化，对 GDP、就业等宏观经济变量产生不同程度的负影响，而单位 GDP 能耗与二氧化硫和固体废弃物排放等环境影响变量也出现不同程度的下降。根据中国现阶段的经济结构，能源作为一种基本投入，其成本的上升对实体经济的冲击比较大，而且由于我国经济结构中工业比重较大，对能源成本比较敏感，这种冲击造成的影响还不仅仅局限于成本上升造成的直接损失。发展可再生能源有利于增加就业，但是，其对整体能源成本造成的压力，将对其他行业的产出和就业产生负面影响。

表 5 2020 年二氧化碳排放约束对宏观经济影响

排放 (亿吨)	GDP (%)	就 业 (%)	单位 GDP 能耗 (%)	二氧化硫 (%)	固体废弃物 (%)
94.7	1.73	1.37	4.32	7.57	4.99
91.6	0.89	0.97	3.90	5.90	3.57
88	0.05	0.02	- 0.63	- 0.60	- 0.86
86	- 0.03	- 0.08	- 0.98	- 1.15	- 1.05
84	- 0.21	- 0.35	- 3.31	- 4.13	- 2.42

注：表中数据为各指标在相应排放约束下相对基准情形的变化率。

比较低廉的能源成本有利于 GDP 和就业，但不利于单位 GDP 能耗以及二氧化硫和固体废弃物排放。所以，中国政府通过可再生能源规划来减少排放，是以牺牲一定的经济增长和就业为代价的，这是政府在气候变化问题上积极努力的表现。

如果可以在国家发展和改革委员会规划的基础上加大力度开发成本较低的水电，就可以将二氧化碳排放约束从 90 亿吨降低到 88 亿吨，而不引起能源成本的增加，对宏观经济也就不会产生影响。

如果将 2020 年的二氧化碳排放设为 84 亿吨，相对应的 GDP 将下降 0.21%，就业下降 0.35%，这还在可以接受的范围内。进一步降低二氧化碳排放，其造成的 GDP 和就业下降，将是中国现阶段经济社会不能承受的。

我们的研究结果也表明：满足了国家发展和改革委员会 2020 年新能源规划后，二氧化碳进一步减排的空间并不大。在 2020 年以前限制更低的排放，可能会以牺牲经济增长和城市化进程为代价，其他方面的减排努力需要得到重视。此外，其余污染物如二氧化硫和固体废弃物都随二氧化碳排放下降而有较大幅度下降，可以带来整体环境改善。如果采用绿色 GDP 的概念，则情况会不同。

因此，在满足国家发展和改革委员会规划的基础上，可以考虑进一步将二氧化碳排放约束设定在 84 亿吨范围之内，对 GDP 及就业的影响可以接受，相应的单位 GDP 能耗降幅下降的比例也较大。值得注意的是，宏观影响结果是基于目前的经济结构而言的，如果可以向低碳方向改变目前的经济增长速度和产业结构，改变能源结构带来的成本增加和对宏观经济的影响将会温和一些。

五、小 结

推动节能减排和应对气候变化，中国能源战略必须进行相应的调整。本文提出，中国能源

战略需要从两方面进行调整,并给出了相应的调整模型。具体来讲:一方面,要改变仅从能源供给侧考虑满足能源需求的传统模式,结合能源需求侧管理,通过对能源供给投入和对节能投入的选择,将满足能源需求的成本最小化。另一方面,将二氧化碳排放纳入满足能源需求的约束,据此制定能源结构战略规划。不同碳排放量对应的能源结构,其能源成本会有所不同,对经济增长、就业等的影响也会有所不同。因此,需要对不同的能源结构及其对应的能源成本进行分析,从经济社会角度考虑是否可以接受该能源结构。政府可以将节能和排放约束下可以接受的能源结构作为能源规划的基础,考虑使用什么样的政策支持能源结构的实现。

本文的研究结果说明,考虑国家能源领导小组办公室估算的节能量,以国家发展和改革委员会公布的《可再生能源中长期发展规划》情境为起点,2020年一次能源结构相对应的二氧化碳排放为90亿吨,而无规划约束和仅完成规划90%的两种前景的二氧化碳排放分别为94.7亿吨和91.6亿吨。政府可以在规划的基础上考虑进一步将二氧化碳排放设定在84亿吨,通过调整能源结构,再减排6亿吨二氧化碳。当然,这样做是以牺牲经济增长为代价的,可以认为这是中国为应对气候变化的国际合作所做的贡献。

我们的研究结果还表明,虽然中国还有一定的二氧化碳减排空间,但空间不大,主要是因为现阶段很多重要行业对价格低廉的能源(主要是煤炭和火电)依赖度过高。

优化模型的结果表明,在能源需求和节能量既定的情况下,随着二氧化碳排放量减少,能源成本上升,上升的幅度呈非线性递增。CGE模型的结果也说明,能源成本增加对经济增长、就业等的影响程度也呈非线性递增。因此,对中国现阶段经济发展而言,二氧化碳排放应该是一个渐进性的自我约束。

值得注意的是,我们计算的中国2020年一次能源结构相对应的二氧化碳排放90亿吨,不涉及中国的排放额度问题,不涉及排放权问题,也不意味着中国2020年的实际排放就只能是90亿吨,而只是说,完成政府可再生能源规划相对应的能源结构的排放是90亿吨。进一步的排放约束试图说明,如果政府希望进一步减排,则需要调整能源结构和付出相应的能源成本。因此,我们的排放约束不是中国的排放额度,中国的排放额度和排放权需要国际上在一个公平合理的框架下确定,比如在人均排放权基础上确定排放额度。

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,决定了中国目前重工化的产业结构和以煤为主的能源结构。从中长期来讲,中国经济将继续保持较快增长,至少2020年之前,经济的快速增长和城市化进程会使得重工化仍将延续,二氧化碳排放也将持续增加。虽然城市化、工业化进程中存在能源需求的刚性问题,但是相对发达国家,中国能源效率提高空间仍较大,因此,城市化加快的进程同时也是节能减排的好时机。

[责任编辑:梁华]

method and findings may well be applicable to the humanities as well to social science areas.

(4) Thesis on Extended Cognition and Extended Mind

Liu Xiaoli · 48 ·

Clark and Chalmers have proposed a new explanation for the characteristics of cognition and mind by introducing the concept of "the extended mind". They believe that the external physical and the social environment constitute the subjects of human cognition and mind. Drawing on the essence of the thesis that "cognition does not exist only in the mind" and "the mind is extended into the outside world," the two philosophers propose to blur the lines between the mind and the world. Clark and others have further turned this proposition into a research area under the title of "extended cognition" in an attempt to achieve the integration of embodied and embedded cognition. This paper draws on the debates on this subject in Western academia to conduct an in-depth analysis of Clark and Chalmers' "extended thesis." The author further provides a list of reasons for challenging the thesis of "the extended mind". At the end of this paper, the author points out that there are some limitations if the thesis of "extended mind" is taken as the starting point of an integrated cognitive science.

(5) The Strategic Adjustment of China's Energy Use Structure in the Context of Energy-Saving and Carbon Emission-Reducing Initiatives

Lin Boqiang Yao Xin and Liu Xiying · 58 ·

China's economic development and energy demand specific to a particular period and the formulation of state policy on energy-saving and carbon-emission reduction as well as the hard fact of global warming all necessitate the readjustment of China's energy use strategy. The previous energy strategy focused primarily on energy reserves and production; the centerpiece of this strategy was to ensure China's energy security. In response to global climate change, the adjustment of China's energy strategy has become imperative. On the one hand, the government needs to engage in serious study of energy supply and demand to ensure China's energy security. On the other hand, it needs to limit the production of carbon dioxide and make this a criterion for measuring energy security. For this reason, it is imperative for China to set up an optimized energy use model and make it an effective tool for designing an optimal energy use structure and measuring energy use costs and the impact on macroeconomic performance associated with the adjustment of energy use structure. Our research found that the government's strategy on renewable energy has produced a positive impact on CO₂ emissions. However, due to the limit on CO₂ emissions in industry, costs based on the new energy use structure may skyrocket, negatively affecting macroeconomic performance. This is because many industries in China still rely heavily on coal for energy. From this perspective, the extent of realization of CO₂-emission reductions should be quite limited. Instead, the government should redirect its forces to realizing CO₂-emissions reductions in other aspects of economic life.

(6) The Economic Disparity between Different Regions of China and Its Reduction—An Analysis from the Geographical Perspective

Pan Wenqing · 72 ·

The statistics show that China does not have a universal-reduction and the degree of a universal-reduction is also very weak. There has been a reduction in economic disparity between the eastern and central/western regions; however, this reduction was not statistically significant within the western regions. The Theil Index shows that the rise and fluctuation in the index of-reduction was largely the result of the widening of inter-regional disparity, while intra-regional disparity in the eastern and central/western regions was somewhat reduced. The spatial measurement model further revealed some tendencies that our data failed to predict. By incorporating the inter-provincial correlation effects into the spatial measurement model, we