

文章编号: 1673-1719 (2008) 05-0296-07

中国 2050 年的能源需求与 CO₂ 排放情景

姜克隽, 胡秀莲, 庄幸,
刘强, 朱松丽

(国家发展和改革委员会能源研究所, 北京 100038)

摘要: 利用国家发展和改革委员会能源研究所能源环境综合政策评价模型 (IPAC 模型), 对中国未来中长期的能源需求与 CO₂ 排放情景进行了分析, 对该情景的主要参数和结果进行了介绍, 并对模型中的政策评价进行了介绍。同时报告了实现减排所需的技术。结果显示: 未来中国经济将快速增长, 能源需求和相应的 CO₂ 排放也将明显快速增加, 与 2005 年相比, 2030 年能源需求可能增加 1.4 倍, 2050 年可能增加 1.9 倍。但中国也有较大的机会在 2020 年之后将能源需求量的增加幅度明显减小, 将 CO₂ 排放控制住, 使之不再出现明显增长, 甚至有可能在 2030 年之后下降。

关键词: 排放情景; 能源; 气候变化; 模型**中图分类号:** F206/P16 **文献标识码:** A

引言

能源需求和温室气体(GHG)排放情景已经成为未来温室气体减排政策制定的重要研究议题。国际和国内已经对未来的能源需求和温室气体排放情景进行了许多研究, 包括中期 (2020—2030年)^[1-2]、长期 (2100年)^[3-4]情景研究。IPCC在第五次评估报告中将要求新的排放情景着重分析减排情景, 包括基于区域的中长期减排情景。在前面已经进行的研究中, 对2050年中国的能源和温室气体排放情景的研究有限, 而2050年的排放情景研究也是对国内能源情景研究的一个扩展, 同时也有助于分析国际上2050年减排努力的可能性。本文利用国家发展和改革委员会能源研究所开发的IPAC模型对2050年的能源需求和CO₂排放进行了分析。考虑到未来发展的不确定性, 这里分析了两种情景: 基准情景和政策情景, 即分别为目前能源和气候变化政策延续情

景以及进一步强化政策下实现较低能源需求和较低排放的情景。

1 模型方法

国家发展和改革委员会能源研究所在长期的能源系统分析研究过程中, 通过多种国际国内合作, 开发构架了中国能源环境综合政策评价模型 (IPAC模型)^[1]。这是一个包括多种方法论的多模型框架, 其中有自顶向下型的一般均衡模型 (CGE模型), 也有详细描述分部门技术的自底向上型模型, 同时还有介于两者之间的部分均衡模型和动态经济学模型。本文选择了IPAC-AIM/技术模型作为未来中国能源和CO₂排放的分析模型^[2]。

IPAC-AIM/技术模型是专门针对中国地区的区域模型^[2], 是一个典型的自底向上型模型, 包括3个子模型, 即能源服务需求预测模型、能源效率估算

收稿日期: 2008-05-29; 修订日期: 2008-08-04

作者简介: 姜克隽 (1965-), 男, 研究员, 主要研究领域为能源系统分析和模型综合评价。E-mail: kjiang@eri.org.cn

模型和技术选择模型。能源需求部门分为工业、农业、服务业、民用和运输部门，这些部门又被分为若干子部门。目前模型中有 42 个部门。能源需求和供给双方，总共涉及到了 500 多项技术，包括现有的及未来可能利用的先进技术。部门产出服务（如钢铁产量）是主要的驱动因素，为了提供这些产出服务，将会相应地选择一批技术，然后使用这些技术计算出能源需求。模型以费用最少原则选择技术组合，满足特定的能源服务需求。模型可以模拟分析技术选择、技术进步、能源价格等方面的政策和对策效果。这些技术用到的数据是从大量的报告、期刊、其他出版物，以及对专家的咨询中得到的，长期以来模型数据在不断更新。

2 中国未来社会经济发展展望

情景中对经济增长的预测主要来自于对其他经济发展研究的回顾和分析。但进行到 2050 年的中长期经济增长分析的研究还很有限，目前较多的是讨论 2020 年以及 2030 年的经济增长。最近的一些对于经济发展的研究，由于近期中国的经济快速增长而显得更加乐观。这里选择较快的经济增长情景，在这种情景下，中长期的发展目标是实现国家经济发

展的三步走目标，即到 2050 年中国经济达到目前发达国家水平。在这种模式下，由于国内外市场环境的变化，中国产业结构将面临调整、重组，中国加入 WTO 后，中国产业更加充分地国际化。未来十几年内，中国将成为国际制造业中心，出口成为拉动经济增长的重要因素。考虑到中国经济快速发展，2030 年之后，GDP 的主要支持因素则变为以内需增长为主，国际常规制造业的竞争力由于劳动力成本快速上升而下降。通过采取一系列行之有效的措施，经济结构不断改善，产业结构逐步升级，先进产业的国际竞争力日渐增强，使中国经济仍能在不断调整中以较为正常的速度发展，估计 2000—2050 年，中国经济保持年均 6.4% 的增长速度。各时期经济增长和部门结构见表 1 和表 2。

人口情景主要考虑近期的几个主要规划和研究数据。政府继续对中国人口增长进行控制，农村人口生育状况也在不断改善，计划外生育有所减少，中国人口基本按照目前的构架向前发展。而后，随着中国经济的不断发展和人们生育观念的逐步改变，外加人口高峰过去后将面临负增长局面，政府有意识地放宽对人口增长的限制，间隔生育措施逐步实施，使中国的人口数量基本维持在一个较低水平。这里主要采用了国家人口和计划生育委员会的人口发

表 1 2005—2050 年中国各部门 GDP 增长率（单位：%）

Table 1 GDP growth rate from 2005 to 2050 in China (unit: %)

部门结构	2005—2010 年	2010—2020 年	2020—2030 年	2030—2040 年	2040—2050 年
经济总体	9.67	8.38	7.11	4.98	3.60
第一产业	5.15	4.23	2.37	1.66	1.16
第二产业	10.32	8.27	6.39	3.80	2.46
第三产业	10.17	9.35	8.39	6.19	4.48

表 2 不同年份各部门 GDP 构成（单位：%）

Table 2 Sectoral mix of GDP from 2005 to 2050 in China (unit: %)

部门结构	2005 年	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
第一产业	12.4	10.1	6.8	4.3	3.1	2.5
第二产业	47.8	49.2	48.7	45.5	40.6	36.4
第三产业	39.8	40.8	44.5	50.2	56.2	61.2

表3 2005—2050年中国人口情景
Table 3 Population scenarios from 2005 to 2050 in China

人口构架	2005年	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
总人口数/10 ⁶	1308	1360	1440	1470	1470	1460
城市化率/%	43	49	63	70	74	79
城市人口数/10 ⁶	562	666	907	1029	1088	1138
城市每户人口数	2.96	2.88	2.80	2.75	2.70	2.65
城市户数/10 ⁶	190	222	288	337	365	380
农村人口数/10 ⁶	745	694	533	441	382	302
农村每户人口数	4.08	3.80	3.50	3.40	3.20	3.00
农村户数/10 ⁶	183	190	181	160	152	144

展情景, 并利用 IPAC 人口模型进行了分析。在这种情景下, 2030—2040年中国人口达到高峰, 为14.7亿左右, 2050年下降到14.6亿。各时期的人口情况见表3。

3 中国未来能源和排放情景

利用 IPAC-AIM/ 技术模型, 根据上面宏观经济情景, 对能源需求情景进行了分析。这里给出两种情景, 即基准情景和政策情景, 情景的定义描述如下。

基准情景:描述了未来经济发展的基本趋势, 中国经济作为全球经济的一部分, 将会更加改善和扩大国际贸易。因此, 中国可以依赖国际市场进口能源资源以满足本国部分能源供应的需求。技术发展为中等程度, 即到2030年我国主要高耗能行业能源效率接近世界先进水平。

政策情景:为了实现可持续能源发展, 采取各种能源环境政策, 实现用较低能源增长支持经济社会发展。高耗能行业发展得到抑制, 高耗能产品主要满足国内需求, 甚至可能进口。能源财税政策得到实施, 以促进节能。可再生能源和核能在国家计划和财税政策支持下得到快速发展。到2030年, 主要高耗能工业能源效率达到或超过先进国家水平, 总体上工业基本实现高效、清洁生产; 新建建筑普遍达到节能标准; 大众消费以低能耗为主。因此, 这种情景下 CO₂ 排放较低, 但这里并没有考虑专门针对 CO₂ 减排的政策。2030—2050年, 中国科技发展使得能源效率进一步提高, 可再生能源和核能进一步扩展。

基准情景和政策情景下的能源需求及 CO₂ 排放量见图1和图2。基准情景下(图1a), 一次能源需求到2020年可达45.0亿t标煤, 2030年达53.6亿t

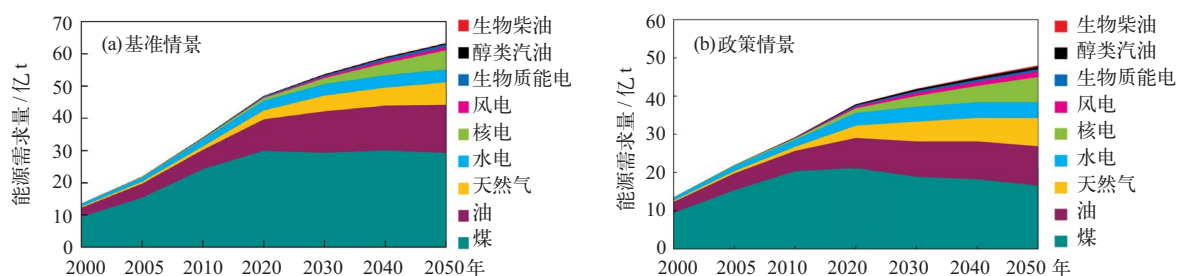


图1 中国一次能源需求量(以标煤计)

Fig. 1 Primary energy demand in China (a) BAU scenario, (b) policy scenario

标煤，2050 年达 63.0 亿 t 标煤。2000—2030 年的年均增长率为 3.6%，GDP 的能源需求弹性为 0.58。煤炭将仍然是中国能源消费的主要组成部分，2030 年煤炭需求为 29.0 亿 t 标煤，占总能源需求的 58%；2050 年为 29.2 亿 t 标煤，占总能源需求的 46%。天

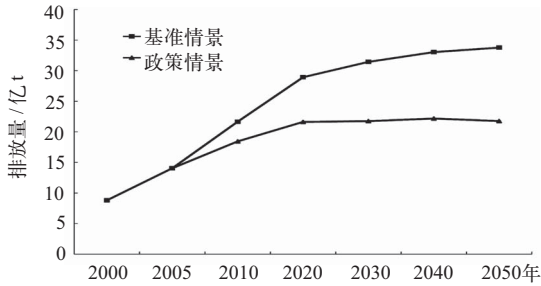


图 2 中国化石燃料 CO₂ 排放量 (以碳计)

Fig. 2 CO₂ emissions from fossil fuel combustion in China

然气需求在中国将会迅速增长，占总能源需求的比例从 2000 年的 4% 增长到 2030 年的 12%。CO₂ 排放量在 2030 年和 2050 年分别为 31.3 亿和 33.8 亿 t 碳 (图 2)。政策情景下 (图 1b)，2030 年一次能源需求量为 42.0 亿 t 标煤，与基准情景相比下降了 21.3%。2050 年能源需求量为 48.0 亿 t 标煤，比基准情景下降了 24.0%。相应地，CO₂ 排放量分别比基准情景下降了 30.8% 和 35.5% (图 2)。

4 中国未来减排的技术可行性分析

在政策情景中，我们考虑了多种政策和技术发展，以减小能源需求和促进新能源和可再生能源发展。表 4 给出了模型情景分析中最常用的政策及模

表 4 模型分析中常用的政策设置
Table 4 Policy options in the modeling study

政策措施	可能的政策工具	适用性	模型实验研究的实施情况
对能效投资的激励	税/补助 低/零利息贷款 信息 家电商标/标准 公共运输系统投资 工业自愿协定	++ ++ ++ +++ ++ ++	使西欧和中国 2050 年的终端能源强度差距比基准情景减少 30%
能源税及其效果	作为“绿色税”一部分的汽油/煤油税	+++	在工业和运输业中实行与西欧现行石油和天然气税相同标准的能源税——所有燃料类型都一样
对终端能源市场份额的影响	税/补助，如针对天然气或生物燃料的排放标准	+	建筑部门用煤减少
电力生产中的高效、燃气型联合循环 (CC)	技术和排放标准 制度改革	++	到 2050 年，15%~20% 电力采用燃气联合循环
包括一体化煤气化联合循环在内的先进清洁煤选择	研发项目 投资	++	从 2010 年开始所有燃煤型电站实现高效率
传输损失的减少		++	2050 年电力分配和传输中的损失降到 OECD 国家水平 (8%)
核电比例的增加	技术和排放标准	+	核能使用从占总电力的 7% 增加到 20%
可再生能源在电力生产中所占比例的增加	配额制/可再生能源义务 制度改革 研发项目	++	电力生产中新型可再生能源的使用从占总电力的 7% 增加到 20%；2020 年的所需比例为 20%
水力发电的增加	投资	+	水电的利用从 68% 增加到其最大潜力的 90%——420GW

续表 4

生物质燃料的加速使用	研发项目 对农民实行免税 / 补助 低 / 零利息贷款 配额制 / 可再生能源义务	+++ ++ ++ ++	石油 / 天然气市场份额到 2020 年 占 10%，2050 年占 20%
产生综合效果的碳税 小型分散电力生产： 热电联产太阳能、风能、 小型水力、生物质能	所有部门燃料实行碳税 研发项目 低 / 零利息贷款 对电网中的电力生产者 实行高回报率 制度改革	+ ++ ++ +++ +++	30 美元碳税
通过开放进口和构建基础设施等方法提高天然气的利用	双 / 多方合作 天然气开采和利用	+	
对大量燃煤电站脱碳和碳存储	排放标准	-	

注：“+”表示适用，“-”表示不适用；“+++”表示适用性很强，“++”表示适用性强，“+”表示适用性一般

型的参数。

许多研究^[5-7]显示,技术进步在减缓气候变化中扮演了重要的角色。中国作为一个发展中大国,正处于经济起飞的时期,技术对能源节约,减缓环境和气候变化是非常重要的。而大部分技术同时在短期和长期内满足节约能源和保护环境的要求。因此,技术策略可以与能源与环境政策结合起来。在对我国各行业未来技术发展研究中,许多目前已有的技术不仅对节能有很大贡献,而且可以降低温室气体排放(见表5),这些技术已经是政府鼓励发展的,可以也应该在2020年之前得到完全普及^[7-8]。表5中许多技术已经出现在政府推广的目录中。现在可以将应对气候变化作为一个促进因素,利用更多的资金和国际合作,来加速这些技术的普及。

通过对世界和中国的长期能源与排放情景研究,发现下面的这些关键技术将发挥重要作用^[9-10]:现代可再生能源生产技术(太阳能等);先进核发电系统;燃料电池;整体煤气化联合循环(IGCC)/先进洁净煤技术/碳捕获和埋存技术;先进燃气轮机;非常规的天然气和原油生产技术;合成燃料生产技术;超低能耗和零排放先进交通技术等。

这些技术已经得到了大家的重视,但由于缺乏技术研发投资,这些技术大部分会在发达国家得到

表 5 中短期对温室气体减排有贡献的技术

Table 5 Technologies contributing to GHG mitigation in short and medium term

部门	技术
钢铁产业	大规模设备(炼焦炉、鼓风机、富氧转炉等),干法熄焦炼焦设备,连铸设备,高炉煤气发电装置(TRT),连轧设备,焦炉煤气和高炉气回收,直流电弧炉,热装热送
化学产业	大规模的化学工业设备,余热回收系统,离子膜技术,现有技术的改进
造纸业	联产设备,余热利用设备,黑液回收系统,连续蒸煮系统
纺织业	联产设备,无梭织机,高速印花和染织技术
有色金属冶炼	反射器熔炉,废热回收系统,氧气底吹炼铅(QSL)铅锌生产系统
建筑材料	预分解干法窑,余热发电装置
机械制造	高速切削,电液锤,保热炉
居民	燃气灶,先进节能电器,高效照明系统,太阳能热水器、热泵,节能建筑
服务业	中央空调加热系统,中央冷热空调系统,联产系统,节能电器,高效照明系统,节能建筑
运输	先进柴油卡车,低能源使用的小轿车,电动汽车,天然气汽车,先进电力机车
通用技术	高效率锅炉,倒装焊(FCB)技术,高效电动机,高效变频电机,离心水泵,节能灯

发展。但是发展这些技术是整个世界的需求，随着中国经济实力和技术竞争力的增强，其中一些技术有可能在中国得到更多的研发投资。例如，IGCC和洁净煤技术在中国有非常大的市场潜力，而其他一些煤炭利用量少的国家在技术与开发中面临着很大的市场不确定性。这样，中国的技术发展就存在比较好的机遇，如果中国可以在这些技术的研究与开发方面处于世界领先地位，环境和经济发展都可以获得收益。在实现较低温室气体排放的情景下，技术发展政策需要考虑气候变化的因素，以实现温室气体低浓度目标。对中国和其他国家来讲，气候变化框架下在技术的研究与开发方面进行国际合作也是未来的减排机会。

中国的“十一五”节能目标和可再生能源发展目标^[11-12]，已经使许多技术得到鼓励和促进。由于技术效率提高，产品（工业产品）单耗下降，单位服务能耗（交通、建筑用能等）下降。绝大多数的先进节能技术目前已经在市场上出现，但仍然比较贵。还有一些技术仍在示范阶段，但已经具备市场化大规模利用的前景。政策情景着重考虑这些技术的进一步普遍应用，同时也考虑了这些先进技术的成本学习曲线的变化，即未来成本的下降潜力。在政策情景中，考虑了对先进节能技术的倾斜性投资，同时也考虑了这些投资的可行性，即投资在可接受范围之内。由于考虑了节能效果，政策情景中对能源工业的投资（考虑先进技术）要少于基准情景，全社会的能源花费比基准情景仅有微小增长。这些说明，技术投入具有可行性和必要性。中国也开始考虑气候变化的减排和适应对策^[13-14]，使得未来的低温室气体排放情景的实现有更好的政策条件。

目前，中国已经采取了可持续发展、节能、可再生能源政策和行动，可以明显地看出，中国政府会长期实施这些政策。表 5 中所提到的节能技术很有可能 2020 年得到全面普及。而对一些重要的新一代的能源开采、转换和利用技术，如 IGCC、先进煤炭转换技术、风力发电技术、太阳能利用技术、生物质能发电和气化技术、先进机动车技术、先进核电技术，都在我国政府支持下进行了研究与开发，并取得了一定的成绩，且有可能在未来取得领先地位。

5 结论和政策建议

能源与排放情景研究显示，未来我国能源需求量呈持续增长趋势。从目前到本世纪中叶，随着我国社会经济持续稳定地增长，能源需求量明显增长。如果要实现较低的能源需求，如达到政策情景的能源需求量，需要付出相当大的努力，包括优化经济结构和能源结构、建立和完善能源市场、通过技术进一步实现年均 2.95% 的较高节能率等。这些结论表明，我国未来能源增长速度为经济增长速度的 40%~65%（即能源弹性为 0.40~0.65），与发达国家在经济起飞阶段的历程相比，这是相当低的。

未来 50 a，随着能源消费量的增长，我国能源活动所引发的温室气体排放量同样呈现上升趋势。2050 年基准情景 CO₂ 排放量最高会接近 34 亿 t 碳，而政策情景中则有可能将 CO₂ 排放量相对基准情景降低 35.5%。

能源转换、使用和供应技术的发展对未来能源需求和温室气体排放趋势有着相当重要的影响。经济发展、人口和收入变化以及使用技术的变化是影响能源消费数量和质量的主要因素，而能源开发和转换技术则是保障能源供应数量和质量的原动力，技术进步特别是先进技术将使大量潜在的常规油、气和非常规油、气以及其他清洁能源资源的开发、利用具有经济性、较高的利用效率和较好的环境效益。因此，应将技术发展政策的制订过程与经济发展和应对气候变化对策结合起来，利用我国自然资源条件，着重发展一些具有国际领先地位的重大清洁能源开发、转换和利用技术，使之既有利于能源环境发展，也有利于经济发展。

实现低能源需求和低碳经济的途径包括：调整经济到一个低能耗、高效率的产业结构；全面实现用能技术的先进化，通过多种政策措施大范围普及先进、高效技术；全面合理发展可再生能源和核电，提高它们在一次能源中的比重；全民参与，改变生活方式，寻求低碳排放的消费模式；发展低碳农业，增强森林覆盖和管理。这些对中国来讲，就是要优化产业结构，控制高耗能工业发展，减少和控制高耗能产品出口；争取在 2025 年左右使中国工业的能

源技术效率达到当时世界先进水平；大力发展、使用可再生能源技术，如风力发电、水电要进一步大规模普及，光热发电、光伏发电技术要进行接近商业利用的示范；全面大力发展核电，特别是第三代、第四代先进核电技术；大范围提高公众意识，使低碳生活方式成为普遍行为。

可以看出，现在中国正在进行的节能减排努力方向与对未来的能源需求和低碳经济的要求是一致的。因此，发展低碳经济并非是一个全新的、额外的努力，而是要在现在的国家能源、环境对策和可持续发展政策上进行进一步的扩展。 ■

参考文献

- [1] Jiang Kejun, Hu Xiulian, Liu Qiang. Balancing Development, Energy and Climate Priorities in China [R]. Denmark: UNEP, 2007
- [2] 胡秀莲, 姜克隽. 中国温室气体减排技术选择及对策评价 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001
- [3] 姜克隽. 中国与全球温室气体排放情景分析模型 [M]// 周大地, 韩文科. 中国能源问题研究 2002. 北京: 中国环境科学出版社, 2003
- [4] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要 [M]. 北京: 中华人民共和国国务院, 2006
- [5] IPCC. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007
- [6] 周大地, 姜克隽. 减缓气候变化—IPCC 第三次评估报告的主要结论和中国的对策 [M]. 北京: 气象出版社, 2004
- [7] Jiang Kejun, Hu Xiulian. Energy demand and emission in 2030 in China: scenarios and policy options [J]. Environment Economics and Policy Studies, 2006, 7 (3): 233–250
- [8] Jiang Kejun, Hu Xiulian, Liu Qiang. Perspective of Clean Coal Technology Development in China [R]. Proceeding of International Opening Conference of Science, Bonn, Germany, 2005
- [9] Nakicenovic N, Alcome J, Davis G, *et al.* IPCC Special Report on Emission Scenario [M]. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2001
- [10] Jiang Kejun, Tsuneyuki Morita, Toshihiko Masui, *et al.* Long-term emission scenarios for China [J]. Environment Economics and Policy Studies, 1999, 2: 267–287
- [11] 国家发展和改革委员会. 我国节能中长期专项规划 [M]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2004
- [12] 国家发展和改革委员会. 可再生能源中长期发展规划 [M]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2007
- [13] 国家发展和改革委员会. 中国应对气候变化国家方案 [M]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2007
- [14] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2007

China's Energy Demand and Greenhouse Gas Emission Scenarios in 2050

Jiang Kejun, Hu Xiulian, Zhuang Xing, Liu Qiang, Zhu Songli

(Energy Research Institute, National Development and Reform Commission, Beijing 100038, China)

Abstract: Mid- and long-term energy demand and greenhouse gas (GHG) emission scenarios in China were analyzed using the IPAC model. The main parameters and results for the scenarios are introduced, and policy options assessed in the model are also presented in this paper. At the same time, the emission mitigation technologies are reported. With the rapid development of economy in the future, energy demand and CO₂ emission in China will also increase quickly. Compared with 2005, energy demand may increase by 1.4 times in 2030 and by 1.9 times in 2050. However, we do see ample opportunities for China to make the emission stable after 2020 without large increase, and even begin to decrease after 2030.

Key words: emission scenarios; energy; climate change; model