

文章编号: 1007-7588(2010)08-1570-08

中国碳排放: 国际比较与减排战略

周伟¹, 米红²

(1. 厦门大学人口资源环境与GIS研究中心, 厦门 361005;

2. 浙江大学非传统安全与和平发展研究中心, 杭州 310058)

摘要: 利用 MARKAL-MACRO 模型, 对中国(2010年-2050年)未来能源消费产生的二氧化碳进行预测, 并依据人口增长与城市化水平、宏观经济、能源效率、能源结构模拟了碳排放的基准方案。在基准方案下, 中国的一次能源需求将在 2042 年达到峰值 62.81 亿 tce, 万元 GDP 能耗在 2050 年下降到 0.36tce。能源相关的二氧化碳排在 2036 达到峰值 107.53 亿 t。国际间二氧化碳排放量的比较表明, 中国作为发展中国家, 在全球碳减排中承担较少责任。由于大量消耗化石燃料造成严重的国内环境污染, 基于减缓气候变化和环境污染损失的考虑, 中国需要限制化石能源的使用, 降低二氧化碳排放。在优化方案下, 中国的一次能源需求会在 2031 年达到峰值 51.76 亿 tce, 万元 GDP 能耗在 2050 年下降到 0.26tce; 二氧化碳排放峰值出现在 2029 年, 为 95.27 亿 t。要实现优化方案, 中国经济需要向低碳经济转型, 提高能源效率, 扩大清洁能源的比重。

关键词: 碳减排; 排放权; 气候变化; 国际责任

1 引言

根据美国橡树岭国家实验室二氧化碳信息分析中心(CDIAC)公布的数据, 2008年中国因能源消费而排放的二氧化碳为 63.3 亿 t, 同年美国的排放量为 56.2 亿 t。目前我国尚没有公布最新的温室气体数据。根据 2004 年发改委组织编制的《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》, 2004 年中国二氧化碳排放量约为 50.7 亿 t。1994 年-2004 年中国温室气体排放总量的年均增长率约为 4%。如果 2004 年-2008 年排放量仍以 4% 的速度增长, 2008 年中国二氧化碳排放量为 59.3 亿 t, 略低于 CDIAC 测算的数据, 但也超过了美国的排放量。除中美之外, 其他国家的排放量均低于 20.0 亿 t。美国的排放量目前已达到峰值, 而中国的排放量还会上升。

按照《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 和《京都议定书》, 包括中国在内的发展中国家在 2008 年-2012 的“第一承诺期”内不承担强制减排的责

任。目前国际社会的共识是, 发达国家与发展中国家在温室气体减排方面应承担“共同而有区别的责任”。从工业革命开始到 1950 年的两个世纪里, 在人类利用化石燃料而产生的二氧化碳中, 发达国家的排放占了 95%。基于此, 我国学者提出, “人均碳排放权均等”是中国参与国际气候谈判和承担国际责任时应坚持的原则^[1,2]。

减排温室气体需要控制化石燃料的消费, 这在应对气候变暖的同时也有助于减轻环境污染。煤炭消费是中国二氧化碳的主要来源, 也是二氧化硫、烟尘、重金属污染(如汞、铅)的主要来源。中国目前排入大气中 90% 的二氧化硫、80% 的二氧化碳均来自煤的燃烧。目前中国二氧化硫的年总排放量已超过 0.23 亿 t, 造成 1/3 的国土遭受酸雨污染, 每年经济损失达成 1500 亿元以上。

减轻环境污染符合中国的国家利益, 这一目标与减排温室气体是一致的。中国作为发展中国家

收稿日期: 2010-02-07; 修订日期: 2010-04-27

基金项目: 教育部哲学社会科学重大项目: “中国非传统安全威胁的应对能力建设研究”(编号: 08JZD0021-D); 国家社会科学基金重点项目: “应对重大突发公共事件的绩效评估、政策仿真与能力建设研究”(编号: 08ASH006); 国家人口计生委“十二五”规划项目: “我国人口资源环境约束下的定量分析”。

作者简介: 周伟, 男, 山东泰安人, 博士生, 研究方向为能源与环境系统工程。E-mail: ttomcc@126.com

通讯作者: 米红, E-mail: spsswork@163.com

2010年8月

也需要限制化石能源的使用,降低二氧化碳排放。现有研究对中国的能源、经济、环境作了较多定量分析^[3-9],较多强调减排会付出经济减速的代价,对于二氧化碳排放的峰值及到达峰值的时间研究较少。本文根据国家发展战略规划,在对未来人口、经济、产业结构等进行合理假设的基础上,应用能源模型对未来不同能源消费方案下的二氧化碳排放进行估计,估计出排放峰值及峰值时间,并探讨中国减排二氧化碳的国际责任。

2 研究方法

本文以 MARKAL-MACRO 模型为基础,从工程技术角度与经济角度建立中国能源消费的模型。MARKAL-MACRO 模型是一个非线性动态规划模型,耦合了 MACRO 模型与 MARKAL 模型^[10]。MACRO 模型是宏观经济模型,该模型中集成了新古典主义宏观经济学的增长理论,其生产函数是:

$$Y = \left[a \cdot K(t)^{\rho kps} \cdot L(t)^{\rho(1-kps)} + \sum_{dm \in DM} b_{dm} \cdot D_{dm}(t)^{\rho} \right]^{1/\rho} \quad (1)$$

$$L_0 = 1, L(t) = [1 + grow(t-1)]^n L(t-1) \quad (2)$$

$$\rho = 1 - \frac{1}{ESUB} \quad (3)$$

式中 $Y(t)$ 为周期内每年总产出; a, b_{dm} 为生产函数的系数; $K(t)$ 周期 t 内每年的资本要素投入; $L(t)$ 为周期 t 内每年劳动要素投入; dm 为能源服务需求部门分类; DM 为能源服务需求部门的集合; $D_{dm}(t)$ 为周期 t 内每年 dm 部门的能源服务需求, $grow(t)$ 周期内每年的经济增长率; n 为每个规划周期的年数; $ESUB$ 为能源服务需求对资本和劳动力投入的替代弹性; kps 为资本增加值在总增加值中的比例。按照《中国统计年鉴》中《综合能源平衡表》的分类标准,将能源消费需求按行业进行分解。终端能源需求可分为农业、工业、建筑业、交通运输邮电业、批发零售餐饮业、生活消费、其他消费等。本文按照这一划分标准,将各部门的能源需求分别进行测算。

MARKAL-MACRO 模型的效用函数如下:

$$UTILITY = \sum_{t=1}^{T_c-1} udf(t) \lg C(t) + udf_{T_c} / [1 - (1 - udr_{T_c})^n] \quad (4)$$

$$udf(t) = \prod_{\tau=0}^{t-1} [1 - udr(\tau)]^n \quad (5)$$

$$udf(t) = kpvs / kgdp - depr - grow(t) \quad (6)$$

式中 $C(t)$ 为周期 t 内每年总消费; $udr(t)$ 为周期 t 内效用贴现率; $udf(t)$ 周期 t 的效用贴现因子; $kgdp$ 为基年的资本与国内生产总值之比; $depr$ 为折旧率; T 为规划期所有周期的集合, T_c 为最后一个规划期。按照中国现有的效用贴现水平、固定资产投资率、折旧率设定分阶段的参数值,并应用到模型中。

二氧化碳排放量的测算方法如下:

$$M = \delta \sum_{i=1}^7 e_i \cdot h_i \cdot E \cdot \theta_i \quad (7)$$

式中 M 为 CO_2 的总排放量; E 为能耗总量; θ_i 为能源 i 在能源结构中的比重; 其中 $i=1, 2, \dots, 7$, 分别表示煤炭, 石油, 天然气, 水电, 核电, 风电, 太阳能(非化石能源在建设运营中仍会排放二氧化碳); e_i 为能源 i 单位发热量排放的二氧化碳, h_i 为燃料 i 的氧化率, δ 为标准燃料产生的热能, $\delta=4\ 1870\text{MJ/toe}$ (toe 为吨标准油当量) 或 $\delta=2\ 9310\text{MJ/tce}$ (tce 为吨标准煤当量)。

3 能源消费及碳排放的基准方案

本文的基准方案是根据现有的经济发展规划及节能减排战略设定的,包含人口、宏观经济、能源效率、一次能源结构等子系统。对于人口子系统,考虑生育水平的变化进行模拟,并利用数理人口学测算城市化水平。《国家人口发展战略研究报告》公布的总和生育率为 1.8,但近年来人口变动抽样调查及生育调查均显示总和生育率不断下降。本文假设国家在 2020 年放宽生育政策,总和生育率恢复至 1.8 的水平,并保持稳定^[11]。在这一假设下,总人口在 2035 年达到峰值 14.6 亿人,此后缓慢下降。

在模型中将 2010 年-2050 年间每 10 年划为一个阶段,经济增长率分别为 6.2%、4.8%、3.3%、2.4%。这种速度显著低于目前的经济增长率,原因在于随着总量增加,未来经济增长率将持续下降。此外,环境资源条件的约束,也使经济增长放缓。国家环保总局和国家统计局联合发布的《中国绿色国民经济核算研究报告 2004》中,测算我国因环境污染造成的经济损失占 GDP 的 3.05%,世界银行的评估结果是 5%~7%。在全国环境污染得到有效遏制之前,这一损失还会增加。另一方面,强化温室气体减排也会是经济增长受到一定影响。政府间气候变化专门委员会(IPCC)估算,如果将温室气体浓度控制在 0.045%~0.055% 二氧化碳当量,则中长

期减排成本将占全球GDP的3.0%~5.5%¹⁾。如果减排量大则对经济增长影响大,同时污染损失小;如果减排量小则对经济增长影响小,但污染损失大。碳减排与污染导致的损失在一定程度上是替代关系。由于充分考虑了环境污染和碳减排对经济的影响,能源消费的基准方案与优化方案都以同一经济增长情景为基础。

对于能源子系统,根据《节能减排综合性工作方案》、《核电中长期发展规划》和《可再生能源中长期发展规划》设定的目标进行预测。此外,考虑到

2008年-2009年国家经济刺激方案中,对能源领域的投资有所加快,部分超出了原有的中长期规划,本文对能源效率及构成的设定也做了相应调整。基准方案的模拟结果如表1所示。

在基准方案下,中国的一次能源需求将在2042年达到峰值62.8亿tce,万元GDP能耗在2050年下降到0.36tce。能源消费弹性将从2010年-2015年间的0.65下降到2035年-2040年间的0.21,并在2042年之后转为负值。这意味着随着工业化、城市化的完成,经济增长对能源消费增长的依赖逐渐降

表1 基准方案下的能源消费与二氧化碳排放

Table 1 The energy consumption and carbon dioxide emissions of the Reference Scenario

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
总人口(亿)	13.52	13.93	14.25	14.46	14.59	14.63	14.56	14.36	14.09
GDP(万亿元,2005年价格)	31.85	44.07	58.62	75.64	93.81	112.47	129.52	146.64	163.27
城市化率(%)	47.40	51.40	54.20	56.50	58.40	60.10	61.60	62.90	64.10
第一产业比重(%)	10.80	9.90	9.10	8.40	7.90	7.40	7.00	6.70	6.30
第二产业比重(%)	47.40	46.70	45.80	44.40	42.20	39.80	36.90	33.90	30.80
第三产业比重(%)	41.80	43.40	45.10	47.20	49.90	52.80	56.10	59.50	62.90
初级能源需求(亿tce)	30.95	38.40	45.64	51.83	56.93	60.74	62.29	62.07	58.59
煤	20.79	24.57	27.39	28.92	29.54	29.51	27.84	26.26	23.30
石油	6.24	7.65	9.22	10.73	12.11	13.04	13.69	14.00	12.90
天然气	1.00	1.38	1.83	2.28	2.66	3.29	3.78	4.20	4.69
水电	1.83	2.57	3.23	3.78	4.20	4.53	5.26	5.07	4.86
核电	0.33	0.70	1.31	2.09	2.97	3.92	5.00	5.54	5.64
其他	0.74	1.53	2.67	4.03	5.45	6.45	6.71	7.03	7.19
终端能源消费(亿tce)	20.14	25.33	30.54	35.22	39.34	42.17	44.14	44.59	42.24
工业	14.05	16.99	19.63	21.78	23.59	24.71	25.46	25.33	23.64
交通运输邮电	1.75	2.56	3.55	4.48	5.31	5.92	6.28	6.65	6.59
建筑业	0.36	0.52	0.72	0.91	1.06	1.22	1.37	1.45	1.39
生活	2.11	2.85	3.67	4.43	5.09	5.55	5.91	6.11	5.91
农业	0.62	0.74	0.91	1.12	1.41	1.70	1.98	2.18	2.24
批发零售餐饮	0.51	0.71	0.94	1.15	1.34	1.49	1.58	1.65	1.60
其他	0.74	0.94	1.14	1.34	1.50	1.58	1.55	1.23	0.85
终端消费构成(亿tce)									
煤	11.87	14.08	15.68	16.60	16.94	16.93	16.12	15.24	13.58
石油	5.20	6.38	7.72	8.98	10.22	11.07	12.02	12.39	11.96
天然气	0.70	0.97	1.28	1.63	1.95	2.10	2.45	2.62	2.63
电力	1.03	1.79	2.87	4.25	5.93	7.73	8.82	9.47	9.42
其他	1.32	2.10	2.99	3.77	4.29	4.34	4.75	4.87	4.64
CO ₂ 排放(亿t)	67.86	81.01	92.10	99.74	104.65	107.37	105.03	102.17	93.05

1) 段红霞,国际低碳发展的趋势和中国气候政策的选择.国际问题研究,2010(1):62-68.

2010年8月

低,并最终实现在能源消费总量下降的条件下保持社会经济的持续发展。

一次能源消费结构将发生显著变化。煤炭的比重将从目前的68%左右下降到2040年的44.6%,2050年的39.8%;石油的比重将略有上升,2050年为22%;天然气的比重将提高到8.3%,核能的比重将提高到9.6%。由于水电对生态、地质的影响,具有技术性、经济性可开发的水电将在2040年前后达到峰值,比重为10.9%。

由能源消费而排放的二氧化碳持续增加,在2036年达到峰值107亿t,并在2050年下降到93亿t。在2036年-2042年,能源消费量增加而碳排放降低,原因在于能源效率的提高和能源结构的优化。人均二氧化碳排放量在2037年达到7.3t,2050年为6.6t。

4 中国减排的国际责任分析

2008年全球化石燃料排放的二氧化碳中,中国的比重为21%,未来这一比重还会上升。从发展经济的角度看,中国需要一定的碳排放增量空间。在目前的技术水平下,达到工业化国家的发展水平意味着人均能源消费和二氧化碳排放必然达到较高的水平,世界上目前尚没有既有较高的人均GDP水平又能保持很低人均能源消费量的先例。美国的人均二氧化碳排放量为19t,日本为10t。发达国家中,人均排放量最低的是瑞士,人均排放量为6.1t,也超过了4.5t的世界人均水平。对包括中国在内的发展中国家而言,由于技术、管理和体制方面的原因,经济增长不可避免地要增加二氧化碳排放。同时,从排放量的国际对比看,中国应承担与发达国家不同的国际责任。

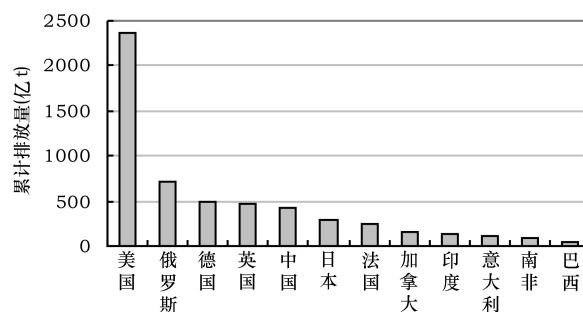


图1 1900年-1990年累积排放量居前列的国家

Fig.1 Countries have huge carbon emissions in 1900-1990

4.1 历史累计排放量的国际比较

从1900年-1990年的历史累积排放量分析,中国的排放量并不突出,位居美国、俄罗斯、德国、英国之后(图1)。如果考虑工业革命(1750年前后)至1900年之前的排放,发达国家所占二氧化碳排放的比重将更大。从1950年-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到总排放量的77%。

图2显示,20世纪前半期,中国的排放量低于主要发达国家。从1970年代开始,中国的碳排放才显著上升。1950年到2002年,中国二氧化碳排放只占世界同期累计排放量的9.3%。所以,尽管现在的增量来自于发展中国家,全球变暖主要还是由发达国家排放大量温室气体造成的,而不是发展中国家。

4.2 人均排放量的国际比较

按照2008年人均二氧化碳排放量由高到低的顺序选取若干国家,并与中国和印度进行对比(图3)。人均二氧化碳排放最大的是卡塔尔、科威特、阿联酋等石油生产国,人均二氧化碳排放量在30t

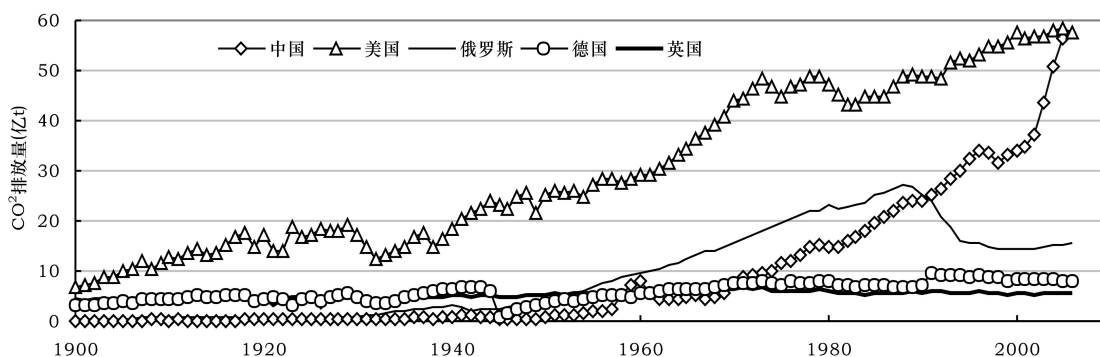


图2 部分国家碳排放的变化

Fig.2 The change of carbon emissions in several countries

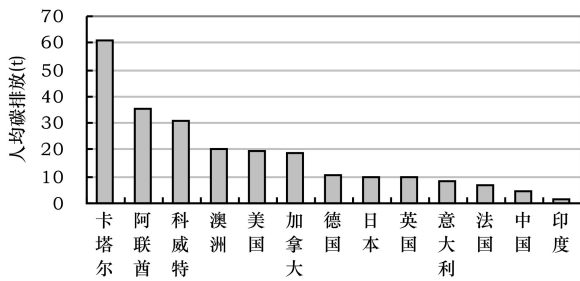


图3 人均碳排放的比较

Fig.3 Comparison of carbon emissions per capita

以上,人均国内生产总值(GDP)在4~7万美元(购买力评价法测算,下同),这些国家的排在很大程度上属于“奢侈排放”;人均二氧化碳排放量在15~30t的是的是卢森堡、美国、澳大利亚、加拿大等,人均GDP在3~5万美元(卢森堡超过7万美元)。《联合国气候变化框架公约》附件一中的大多数国家人均二氧化碳排放量在8~15t之间。中国、印度作为两个最大的发展中国家,人均GDP分别为6757美元和2753美元,二氧化碳排放量分别为4.67t和1.36t。对更多国家的相关分析表明,人均二氧化碳排放量与人均GDP具有显著的相关性,相关系数在0.8以上。如果以历史累积的人均排放量进行比较,则中印与发达国家的差别会更大。

4.3 排放强度的国际比较

二氧化碳排放强度是指单位GDP产生的二氧化碳。如图4所示,乌克兰、俄罗斯排放强度最高,中印次之,发达国家的排放强度较低。中印处于相对较低的经济发展阶段,在国际产业分工中处于下游,因而出现了人均二氧化碳排放量低但单位GDP排放高的现象。在大多数发展中国家,二氧化碳排放权就是发展权。中国、印度等发展中国家排放总量里很大一部分是保证居民基本生活的“生存排放”。中国经济的高速增长持续了30年,城市化、工业化仍将保持较快的速度。未来随着中国经济的发展,能源消费和二氧化碳排放量必然还要持续增长。

4.4 中国的减排责任

综合以上比较,包括中国在内的发展中国家对全球碳排放承担较少责任。按照“人均碳排放权均等”的原则,本世纪将大气温度升高控制在2°C内,全球排放空间约为1.80万亿t二氧化碳当量,中国的排放空间为2570亿t。发达国家中的美国、英国

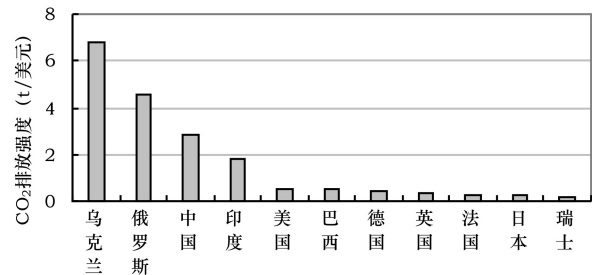


图4 碳排放强度的比较

Fig.4 Comparison of carbon emissions intensity

的排放空间已经是负数,法国、日本的排放空间也即将用尽,广大发展中国家仍有较多的排放空间。在这一原则下,发达国家应以向发展中国家购买排放权的方式承担减排的历史责任,并向发展中国家提供资金和技术以推动共同减排。

由于中国碳排放增量巨大,未来的排放增量会在一定程度上抵消发达国家的减排努力。中国目前的能源消费局面与发达国家在快速工业化时期的状况有很大不同。发达国家在工业化时期拥有足量的低廉的能源供应,气候变化的效应不显著,环境污染程度相对较轻。而中国的粗放式经济发展模式持续多年,对生态环境的影响已超过发达国家,降低对化石能源的依赖并减排温室气体是可持续发展的必然选择。

中国自身已受到气候变化带来的严重影响,表现在:全国年平均降水量在20世纪50年代至今逐渐减少,平均每10年减少2.9mm,华北和东北地区干旱趋重。北方温带草地受干旱、生态环境恶化等影响,退化和沙化现象严重。目前中国土地荒漠化面积约为263万km²,已经占到整个国土面积的27.4%。极端天气现象日益频繁。2008年1月-2月的冰雪灾害使得部分铁路干线陷于瘫痪,部分地区断水断电;2009年春,北方出现大面积的干旱;2009年11月初,北方出现历史罕见的强降雪天气,低温天气比正常年份提前了20-30天,南方多个城市天然气供应短缺,电煤供应紧张;造成巨大的损失。

在现有的发展模式下,经济发展水平较高的地区,同时也是环境污染较严重的地区。2008年,长三角地区以占全国11%的人口、10.4%的区域面积实现生产总值近6.4万亿元,占全国国民生产总值的比重达到21%,但也付出了巨大的资源和环境代价。2008年,上海、江苏、浙江降水pH平均值分别

2010年8月

为4.92、4.8和4.5,酸雨频度分别为32.7%、28.7%和84.3%。浙江的城市均为中等程度以上酸雨区。2008年三省市工业废气排放量5.3万亿 m^3 ,工业二氧化硫排放量210万t,工业粉尘排放量38万t,工业固体废物排放量1.4亿t。

可见,虽然从公平角度看,中国对全球碳排放承担较少责任,但从减少气象灾害、抑制国内环境污染的角度考虑,中国必须主动削减化石能源消费和二氧化碳的排放。这就需要在经济增长的同时,逐步降低能源消耗强度,优化能源结构。本文在基准方案的基础上,提出能源消费与碳排放的优化方案。

5 未来的碳减排战略

政府间气候变化专门委员会(IPCC)报告认为,要使得大气中温室气体排放量稳定在较低水平,全球排放量必须在2020年-2025年内达到峰值,并在2050年降低到2000年排放水平的一半。要实现上述减排路径,那么就全球的排放而言:到2020年,全球排放量应达到峰值;到2030年,排放量应低于350亿t二氧化碳当量;到2050年,排放量应低于250亿t。中国经济的发展阶段决定了中国不可能在2025年之前达到碳排放的峰值,但通过节能减

排,使峰值时间比基准方案中的2036年有所提前是可以做到的。

2009年11月,中国制订了控制温室气体排放的行动目标,到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%。根据美国能源信息管理局(EIA)测算的数据,2005年,中国每千美元GDP所排放的二氧化碳为2.87t,同期美国为0.55t,德国为0.44t,日本为0.25t,印度为1.82t,巴西为0.50t。如果中国能实现上述目标,2020年的每千美元GDP排放的二氧化碳为1.58~1.72t,仍将远高于巴西和发达国家水平,与印度的排放强度相当。

2020年-2050年,随着产业结构的进一步优化,高耗能、高污染的产业比重将继续降低,第三产业将成为主导产业。第三产业以信息和服务为核心要素,对能源和其他自然资源的消耗少,经济增长对能源的依赖逐步降低,碳排放强度会持续下降。

降低碳排放的另一措施是优化能源结构,增加清洁能源的比重。从经济性和可实现性来看,大规模替代煤炭的能源主要是核能。根据目前核电的投资规模测算,预计2020年核电装机容量可达到700亿W,未来这一数值还会继续提高,2050年达到4000亿W左右。风电也有较大潜力,技术性可开发

表2 优化方案下的能源消费与二氧化碳排放

Table 2 The energy consumption and carbon dioxide emissions of optimized scheme

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
一次能源需求(亿 tce)	3058	3658	4216	4727	5079	4702	4341	3906	3503
煤	2054	2341	2530	2638	2636	2285	1940	1652	1393
石油	617	729	852	978	1080	1010	954	881	771
天然气	99	131	169	208	237	255	263	265	281
水电	181	245	299	344	375	351	367	319	291
核电	33	67	121	191	265	304	349	348	337
其他	73	146	246	367	487	499	467	442	430
终端消费需求(亿 tce)	1990	2412	2821	3212	3510	3265	3076	2806	2525
工业	1388	1600	1795	1982	2105	1913	1781	1600	1413
交通运输邮电	173	244	327	409	483	458	444	418	406
建筑业	36	69	85	87	76	56	47	39	23
生活	208	272	339	404	463	445	412	397	365
农业	61	71	84	102	127	139	152	144	140
批发零售餐饮业	50	68	87	105	120	123	124	117	102
其他	73	90	105	122	134	130	115	92	75
CO ₂ 排放(亿 t)	6705	7717	8507	9196	9437	8512	7519	6508	5663

的陆地风能约3000亿W,海洋风能估计有7000亿W。太阳能发电、集热总量可达6000万tce,生物质能源折合标准煤约100亿tce,地热能约33亿tce。

在能效提高和能源结构优化的基础上,测算能源消费与碳排放的优化方案如表2。

在优化方案下,中国的一次能源需求会在2031年达到峰值51.76亿tce,为基准方案峰值的82.4%。相关的二氧化碳排放峰值出现在2029年,为95.27亿t。万元GDP能耗将在2050年下降到0.26tce。相对于基准方案,优化方案下的化石能源比重在2050年由70.4%变为57.4%,核电的比重由9.6%上升到14.0%。风能、太阳能及其他可再生能源的比重也进一步提高。

优化方案的实施路径涉及到社会经济的多个方面,最根本的是要实现经济增长方式向资源节约型、环境友好型的转变,走低碳经济与循环经济之路。在经济政策上,减少对高耗能的重化工业的投资,重视第三产业与民生经济。在公共政策上,采取财税、法律、行政等方面的措施鼓励低碳的生产方式与生活方式,例如优先发展公共交通尤其是轨道交通,而不是鼓励家用汽车的消费;改革能源价格体系,使其体现环境成本,对不同用途的能源差别定价;推广节能建筑,约束公共建筑的能源浪费等。此外,激励节能技术的研发与应用,实施碳捕获与封存技术(CCS)以及积极参与国际间碳排放权交易,都有助于降低二氧化碳的排放。

参考文献 (References):

- [1] 陈文颖,吴宗鑫,何建坤.全球未来碳排放权“两个趋同”的分配方法[J].清华大学学报(自然科学版),2005,45(6):850-853.
- [2] 丁仲礼,段晓男,葛全胜,等.2050年大气CO₂浓度控制:各国碳排放权计算[J].中国科学D辑(地球科学),2009,39(8):1009-1027.
- [3] F. Gerard Adams, Yochanan Shachmurove. Modeling and forecasting energy consumption in China: Implications for Chinese energy demand and imports in 2020[J].*Energy Economics*, 2008, 30: 1263-1278.
- [4] 汪旭晖,刘勇.中国能源消费与经济增长:基于协整分析Granger因果检验[J].资源科学,2007,29(5):57-62.
- [5] 刘凤朝,刘源远,潘雄锋.中国经济增长和能源消费的动态特征[J].资源科学,2007,29(5):63-68.
- [6] 朱勤,彭希哲,陆志明,等.中国能源消费碳排放变化的因素分解及实证分析[J].资源科学,2009,31(12):2072-2079.
- [7] 张兆响,廖先玲,王晓松.中国煤炭消费与经济增长的变结构协整分析[J].资源科学,2008,30(9):1282-1289.
- [8] LI, Zhidong. Quantitative analysis of sustainable energy strategies in China[J].*Energy Policy*, 2009, 37, doi:10.1016/j.enpol.2009.06.031.
- [9] LIN, Boqiang, SUN Chuanwang. Evaluating carbon dioxide emissions in international trade of China[J]. *Energy Policy*, 2010, 38: 613-621.
- [10] CHEN Wenying. The costs of mitigating carbon emissions in China: findings from China MARKAL-MACRO modeling[J]. *Energy Policy*, 2005, 33(7): 885-896.
- [11] 张青.总和生育率的测算及分析[J].中国人口科学,2006,(4):35-42.

China's Carbon Emissions: International Comparison and Mitigation Strategies

ZHOU Wei¹, MI Hong²

(1. Institute of Population, Resource, Environment and GIS, Xiamen University, Xiamen 361005, China

2. Center of Non-Traditional Security and Peaceful Development, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: China's energy-related carbon dioxide emissions between 2010 and 2050 were predicted in this study with the MARKAL-MACRO model. Carbon emissions in the reference scenario were simulated on the basis of population growth, urbanization, macroeconomy, industrial structure, energy efficiency and energy structure. The peak value and the peak time was estimated in the different scenarios. Carbon emissions is influenced by the urbanization and industrialization in China. Total population of China will reach 1.46 billions in 2035, and will decrease gradually after 2036. Gross domestic product will be 163.27 trillions yuan (2005 value) in 2050, and the urbanization rate will be 67.18 in 2050. The growth of urban population would result in more needs for construction, highway, railway, and other infrastructural facilities. Also, the demands for cars and household electric appliance will grow. As such, consumption of energy will increase rapidly, which would lead to growth of carbon dioxide emissions. It was shown in the reference scenario that primary energy demand will achieve peak value 6.28×10^9 tce in 2042, the energy consumption per 10 000 yuan will go down to 0.36tce. Energy-related carbon emissions will achieve peak value 10.70×10^9 t in 2036. It was concluded that more carbon dioxide will be emitted in the future. However, total emissions of China from 1900-1990 was much less than the United States, and per capita emissions was also far less than that of developed countries. There was no country with a high economy level whose per capita carbon dioxide emissions was less than 6 tons. In order to maintain increases in gross domestic product, carbon emissions of China will increase inevitably. An international comparison performed showed that as a developing country, China seems to burden less responsibility in global emission abatement. Huge consumption of fossil fuel has resulted in serious environment pollution. Coal accounts for more than 60% in the primary energy structure, which produce sulfur dioxide, dust and other pollutant. On the other hand, nuclear power accounts for only 2% in the primary energy structure, much less than the world average level of 17%. Hydraulic power has been developing rapidly in recent years, but economical and technical hydraulic power will reach its limit in 2040. Wind power, photovoltaic and biologic energy still need to be further developed. Nuclear power, hydraulic power wind power, photovoltaic and biologic energy are all clean energy. Carbon emissions will decrease if the fossil energy is taken place by the clean energy. It was suggested that consumption of fossil fuel be limited and carbon emissions be reduced in China, contributing to climate change mitigation and environment protection. An optimized scheme was put forward on the basis of the reference scenario. In the optimized scheme, primary energy demand will achieve peak value 5.18×10^9 tce in 2031, account for 81.7% of the peak in the reference scenario; energy consumption per 10 000 yuan will go down to 0.26tce. Energy-related carbon emissions will achieve peak value 9.53×10^9 t in 2029. To realize the optimized scheme, China must reform its inefficient economy to low-carbon economy, improve energy efficiency and the share of clean energy in primary energy consumption.

Key words: Carbon mitigation; Emission permit; Climate change; International responsibility