

我国未来能源消费及其对环境的影响分析

郑博福^{1,2}, 邓红兵¹, 严岩¹, 赵景柱^{1*}

(1. 中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室, 北京 100085; 2. 南昌大学环境科学与工程学院, 南昌 330029)

摘要: 随着我国经济的发展和城市化水平的提高, 未来的能源消费状况及由此带来的环境污染问题日益受到人们的关注. 本文简要回顾了 1980 年以来我国能源消费状况并分析了相应的环境问题, 对我国未来能源消费状况及可能带来的环境影响设置了 3 种情景进行预测和分析, 得出我国今后因能源消费的 SO_2 、 NO_x 、 CO_2 和烟尘等排放量依然很高, 但不同情景的预测结果有较大区别, 并提出通过提高能源效率以及加强清洁、可再生能源的开发利用来解决能源消费带来的环境污染问题.

关键词: 能源消费; 环境影响; 预测; 可持续发展

中图分类号: X24 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2005)03-0001-06

Analysis of China's Energy Consumption and Its Impact on the Environment in the Future

ZHENG Bo-fu^{1,2}, DENG Hong-bing¹, YAN Yan¹, ZHAO Jing-zhu¹

(1. Key Laboratory of Systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Nanchang University, Nanchang 330029, China)

Abstract: With the development of economy and urbanization, energy consumption and its impact on the environment in the future have become a focal point in China. Based on briefly reviewing energy consumption during 1980 ~ 2000 and analyzing its impact, three scenarios are assumed to forecast energy consumption status and analyze its impact on the environment in the future. The results indicate that the emissions of SO_2 , NO_x , CO_2 and soot dust caused by energy consumption would keep a high level in the future, and there are significant differences among the three scenarios' estimates. Improving energy efficiency and strengthening the exploitation and utilization of clean and renewable energy are suggested to mitigate the environmental pollution.

Key words: energy consumption; environmental impact; forecast; sustainable development

能源是经济、社会发展和人民生活水平提高的重要物质基础, 但低效的能源消费和不良的能源消费结构又将带来严重的环境污染问题. 未来 50 年, 我国将相继实现“全面建设小康社会”的奋斗目标以及现代化战略目标, 经济将得到快速发展, 城市化速度加快, 人民生活水平将得到很大提高, 相应地, 我国未来能源消费状况及其将带来怎样的环境影响等问题日益受到人们的关注^[1,2].

当前, 我国还未完全改变“高消耗、高排放、低产出”的粗放型经济增长方式和“能源效率低, 环境污染严重”的局面. 今后, 我国必须改变目前的能源消费状况, 提高能源效率, 降低化石燃料在能源消费结构中的比重, 充分利用和开发水能资源和核能资源以及风能、太阳能等清洁、可再生的资源, 确保我国实现全面、协调和可持续发展^[3~5].

本文回顾了 1980 年以来我国能源消费的状况及其带来的环境影响, 遵循可持续发展的原则并设置 3 种方案对未来 50 年我国能源消费状况及相应的环境问题进行了预测和分析, 以期明确未来不同能源消费趋势对我国生态环境带来的不同影响, 为

我国未来能源发展战略的制定提供依据.

1 当前我国能源消费状况及其对环境的影响

1.1 能源消费总量和消费结构

1980 ~ 2000 年我国能源消费总量及构成如表 1, 这期间我国能源消费总量年均增长 3.93%。“丰煤少油”的资源禀赋, 决定了我国当前能源消费结构以煤为主, 这一能源消费结构不仅影响到我国能源效率的提高, 并且因煤炭的大量消费导致我国环境质量不断恶化.

1.2 能源效率

通常用单位 GDP 能耗(即能源强度)来体现国家层次的综合能源效率. 据 EIA 数据库资料^[1], 1980

收稿日期: 2004-07-05; 修订日期: 2004-10-18

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-423), 国家自然科学基金杰出青年基金项目(70325002)

作者简介: 郑博福(1973~), 男, 博士研究生, 讲师, 研究方向为环境管理与可持续发展.

* 通讯联系人

1) EIA(美国能源部能源信息署)网站能源数据库(<http://www.eia.doe.gov/emeu/international/total.html>)

2) 原单位为: Btu/美元(1995 年汇率), 按 $10^5 \text{ Btu} = 0.0036 \text{ t}$ 标准煤进行单位换算

年中国单位 GDP 能耗为 3.803t 标准煤/ 10^3 美元²⁾ (1995 年汇率), 2000 年为 1.277 t 标准煤/ 10^3 美元, 20 年期间我国单位 GDP 能耗下降了近 2/3, 能源效率有很大提高. 但是, 与其它国家相比, 2000 年中国的单位 GDP 能耗是日本的 9 倍, 巴西的 3 倍多, 印度的 1.35 倍, 中国的能源综合利用效率有待进一步提高.

表 1 1980 ~ 2000 年我国能源消费总量及构成

Table 1 Total energy consumption and its structure in China, 1980 ~ 2000

年份	能源消费总量 ¹⁾ × 10 ⁴ /t	占能源消费总量的比重/ %			
		煤炭	石油	天然气	水电
1980	60275	72.2	20.7	3.1	4.0
1985	76682	75.8	17.1	2.2	4.9
1990	98703	76.2	16.6	2.1	5.1
1995	131176	74.6	17.5	1.8	6.1
2000	130297	66.1	24.6	2.5	6.8

1) 能源消费量折算成标准煤表示, 下同. 资料来源: 《中国统计年鉴 2002》

产业部门的能源效率可以用各产业部门能源强度来表示. 2000 年我国第一产业能源强度为 0.396t 标准煤/ 10^4 元, 第二产业为 2.027t 标准煤/ 10^4 元, 第三产业为 0.620t 标准煤/ 10^4 元, 1980 ~ 2000 年期间第一、二、三产业能源强度年均下降率分别为 2.28 %、6.76 %和 3.76 %, 能源效率特别是第二产业能源效率提高得比较快.

中国能源效率偏低的主要原因, 可以归纳为以下 3 方面: ① 能源消费以煤为主的格局并未改变. 以煤炭为主的能源消费结构, 不但造成能源利用率低, 能耗指数高, 而且环境污染严重; ② 产业结构有待调整和优化. 能耗低的第三产业所占比重较低, 能耗高的第二产业所占比重高, 这是造成我国单位 GDP 能耗高的主要原因之一; ③ 工业设备能耗高, 技术落后.

1.3 我国当前能源消费状况对环境的影响

根据国际能源机构(IEA, 2002) 的资料^[6], 2001 年我国能源消费的 CO₂ 排放量约为 31.12×10^8 t, 占全球能源消费 CO₂ 排放总量的 13.14 %, 占我国 CO₂ 排放总量的 90 %以上, 已成为世界第二大 CO₂ 排放国家. 2001 年我国单位 GDP 的 CO₂ 排放强度为 2.43kg/美元, 是世界平均水平的 3.52 倍, 单位能源消费的 CO₂ 排放强度为 2.69t/t 标准油, 比世界平均水平高出 14 %. 单位能源消费的 CO₂ 排放强度取决于能源消费结构及单位 GDP 能耗. 要控制我国 CO₂ 等温室气体排放量, 在我国经济快速增长和

人民生活水平提高的情况下, 优化我国能源消费结构, 降低我国单位 GDP 能耗显得非常重要.

中国的 SO₂ 排放量居世界第一位, 2000 年 SO₂ 排放量达到 1165×10^4 t (未计香港、澳门和台湾地区). 我国有一半以上的北方城市及 1/3 以上的南方城市受到了 SO₂ 浓度超标的威胁. 燃煤排放的 SO₂ 是造成酸雨的主要原因, 我国酸雨区面积 90 年代中期比 80 年代扩大了 100×10^4 km² 之多, 当前我国年均降水 pH 值低于 5.6 的区域面积已占全国面积的 30 %左右^[7].

中国尚未建立完整的氮氧化物排放清单, 据统计, 1998 年与能源消费相关的部门共排放氮氧化物 11.18×10^6 t, 其中电力部门排放 4.23×10^6 t, 占 37.9 %, 工业部门排放 4.56×10^6 t, 占 41.0 %, 交通运输排放约为 1.45×10^6 t, 占 13.0 %^[1], 煤的直接燃烧是 NO_x 的主要来源^[8].

造成大气环境严重污染的主要原因是中国以燃煤为主的能源消费结构, 并且没有对煤炭利用采取有效的环保措施. CO₂ 排放量的 71 %、SO₂ 的 87 %、NO_x 的 67 %、烟尘的 60 %来自于燃煤^[9], 煤炭的环境污染已经成为了我国可持续发展必须考虑的重大环境问题之一^[10]. 此外机动车快速增长所带来的 NO_x 污染正在加剧. 由于较严重的环境污染, 造成了高昂的经济成本和环境成本, 并对公众健康产生较明显的损害, 国内、外研究机构的成果显示, 大气污染造成的经济损失占 GDP 的 3 % ~ 7 %^[7, 11].

2 我国未来能源消费状况

2.1 未来我国能源消费量预测

将我国未来能源消费量分为支撑产业部门的能源消费量和满足居民生活的能源消费量 2 部分进行预测, 预测过程中主要考虑了我国全面建设小康社会的目标和现代化战略目标以及可持续发展的要求, 其中用到的未来我国人口和经济情况采用国家自然科学基金课题项目“中国可持续发展理论体系及发展模式研究”中人口和经济预测的科研成果³⁾ (表 2).

在预测支撑产业部门的能源消费量时, 根据我国 1980 ~ 2000 年 3 次产业能源强度的变化情况, 参照其它国家 3 次产业能源强度情况, 设置了如下 3 种方案分析我国 3 次产业能源强度在 2001 ~ 2050 年的年均下降率:

3) 赵景柱. 中国可持续发展理论体系及发展模式研究总报告. 2003. 1

A 方案:努力实现小康社会和第 3 步战略的能源效率目标,到 2040 年后跨越能源消耗速率“零增长”台阶.第一、二、三产业能源强度年均下降率分别为 1.5 %、4.5 %和 3.2 %.

B 方案:各产业能源强度下降速率较 1980 ~ 2000 年期间稍缓,到 2050 年产业部门单位能耗创

造的价值为 2000 年的 6 ~ 7 倍.第一、二、三产业能源强度年均下降率分别为 1 %、4 %和 2.8 %.

C 方案:能源使用效率提高得相对较慢,到 2050 年产业部门单位能耗创造的价值为 2000 年的 5 倍左右.第一、二、三产业能源强度年均下降率分别为 1 %、3.5 %和 2.5 %.

表 2 2000 ~ 2050 年中国人口、经济状况
Table 2 Chinese population and economic status, 2000 ~ 2050

时期	总人口 × 10 ⁴ /人	城市化率 ¹⁾	人均 GDP	GDP 绝对额	占 GDP 比重/ %		
		/ %	/美元	/亿元	第一产业	第二产业	第三产业
2000 年	128205	36.22	843	89442	16.35	50.24	33.41
2010 年	136988	46	1588	180128	12.77	50.75	36.48
2020 年	144087	55	2784	332110	10.06	47.02	42.92
2030 年	146057	62	4741	573204	8.11	43.20	48.69
2040 年	144923	69	7717	925831	6.69	39.78	53.53
2050 年	140023	75	11912	1380763	5.71	36.66	57.63

1) 2030、2040 年城市化率为按 2020 和 2050 年城市化率预期目标进行插值估算的结果.
资料来源:参考文献[12 ~ 14]和《中国统计年鉴 2002》

根据未来 3 次产业能源强度年均下降率、经济发展状况,以及 2000 年的人口、GDP、3 次产业构成和 3 次产业的能源强度,可预测未来支撑产业部门的能源消费量.预测结果见表 3.

在预测未来居民生活能源消费量时,根据我国城市化水平发展情况,参考其它国家人均居民生活能源

消费情况量,取我国在 2000 ~ 2050 年城镇居民及农村居民人均生活能源消费量的年均增长率分别为 1.5 %和 2 %,由 2000 年我国城镇居民及农村居民人均年生活能源消费量分别为 215kg 标准煤/人、69kg 标准煤/人⁴⁾,以及未来人口状况可计算得到未来不同时期我国居民生活消费量^[15].计算结果见表 3.

表 3 2000 ~ 2050 年我国能源(标准煤)需求状况 × 10⁸/t
Table 3 China's energy (coal equivalent) demand status, 2000 ~ 2050 × 10⁸/t

年份	产业部门能源需求												生活能源需求
	A 方案				B 方案				C 方案				
	第一产业	第二产业	第三产业	合计	第一产业	第二产业	第三产业	合计	第一产业	第二产业	第三产业	合计	
2010	0.78	11.69	2.95	15.42	0.82	12.32	3.07	16.21	0.82	12.98	3.16	16.96	2.20
2020	0.98	12.60	4.61	18.19	1.08	13.99	5.01	20.08	1.08	15.52	5.33	21.93	2.97
2030	1.17	12.61	6.52	20.30	1.36	14.75	7.38	23.49	1.36	17.24	8.10	26.70	3.74
2040	1.34	11.84	8.37	21.55	1.64	14.59	9.87	26.10	1.64	17.96	11.16	30.76	4.59
2050	1.47	10.26	9.70	21.43	1.89	13.33	11.93	27.15	1.89	17.28	13.91	33.08	5.41

2.2 未来我国一次能源消费构成

根据未来 3 次产业部门及生活能源的需求预测结果,并对各部门能源需求的结构进行分析,得到我国未来一次能源消费构成^[15](表 4).

3 我国未来能源消费对环境的影响分析

3.1 未来 SO₂、NO_x、CO₂ 和烟尘等排放量的计算

根据我国未来的一次能源消费量和消费结构,可以估算出我国未来不同时期因能源消费而产生的 SO₂、NO_x、CO₂ 和烟尘等的排放量.

不同能源品种的 SO₂ 排放系数与各自的含硫量及硫释放率有关,我国原煤、原油、天然气的平均

含硫量分别为 1.2 %、0.15 %和 0.13g/ m³,硫释放率分别为 81.3 %、93 %和 93 %,则对应的 SO₂ 排放系数分别为 0.0195t/ t (SO₂/ 原煤)、0.00279t/ t (SO₂/ 原油)、0.242g/ m³ (SO₂/ 天然气)^[16].

不同能源品种的 CO₂ 排放系数与各自含碳量及燃烧完全的程度有关,根据原国家计委能源研究所估算,一般情况下原煤、石油、天然气燃烧的 CO₂ 排放系数分别为 1.694t/ t (CO₂/ 原煤)、1.808t/ t (CO₂/ 原油)、1604.2g/ m³ (CO₂/ 天然气)^[16].

4) 2000 年我国城镇居民及农村居民人均年生活能源消费量为根据《中国统计年鉴 2002》,参考文献[7,8]中有关资料的估算值.

由上述 3 类化石燃料的消费量和 SO₂ 排放系数和 CO₂ 排放系数,可计算得到 3 方案中我国不同时期能源消费排放的 SO₂、CO₂ 的量,计算结果见表 5。对能源消费中 NO_x排放量的计算,由于燃料种

表 4 2000 ~ 2050 年我国一次能源消费
Table 4 Primary energy consumption in China, 2000 ~ 2050

方案	能源分类	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
A	煤炭 × 10 ⁸ /t	15.63	17.38	18.08	18.04	16.82
	石油 × 10 ⁸ /t	2.80	3.25	3.54	3.68	3.49
	天然气 × 10 ⁸ /m ³	721.80	1276.32	1902.56	2366.39	2607.14
	一次电力 ¹⁾ × 10 ⁸ /k W·h	4132.23	6897.59	10120.91	13926.72	17570.80
	合计(标准煤) × 10 ⁸ /t	17.62	21.16	24.04	26.14	26.84
B	煤炭 × 10 ⁸ /t	16.34	18.93	20.47	21.17	20.38
	石油 × 10 ⁸ /t	2.93	3.55	4.03	4.37	4.31
	天然气 × 10 ⁸ /m ³	751.88	1389.92	2153.08	2773.16	3152.63
	一次电力 × 10 ⁸ /k W·h	4314.05	7485.26	11403.06	16238.84	21106.89
	合计(标准煤) × 10 ⁸ /t	18.41	23.05	27.23	30.69	32.56
C	煤炭 × 10 ⁸ /t	17.02	20.49	22.95	24.48	24.17
	石油 × 10 ⁸ /t	3.04	3.81	4.47	4.99	5.07
	天然气 × 10 ⁸ /m ³	789.47	1507.89	2421.05	3215.19	3746.99
	一次电力 × 10 ⁸ /k W·h	4484.85	8064.26	12702.48	18630.61	24809.37
	合计(标准煤) × 10 ⁸ /t	19.16	24.9	30.44	35.35	38.49

1) 电力与标准煤的换算按 2000 年我国发电标准煤耗 0.363kg 标准煤/(k W·h) 计算

表 5 2000 ~ 2050 年我国能源消费的 SO₂ 和 CO₂ 排放量
Table 5 The emissions of SO₂ and CO₂ caused by energy consumption in China, 2000 ~ 2050

方案	能源分类	SO ₂ 排放量 × 10 ⁴ /t					CO ₂ 排放量 × 10 ⁸ /t				
		2010	2020	2030	2040	2050	2010	2020	2030	2040	2050
A	煤炭	3048	3390	3525	3517	3280	26.47	29.44	30.62	30.54	28.49
	石油	78	91	99	103	97	4.51	5.24	5.68	5.94	5.61
	天然气	2	3	5	6	6	1.17	2.05	3.04	3.81	4.18
	合计	3128	3483	3628	3626	3383	32.16	36.70	39.38	40.26	38.28
B	煤炭	3186	3691	3991	4128	3973	27.68	32.08	34.69	35.86	34.50
	石油	82	99	112	122	120	5.28	6.42	7.30	7.88	7.77
	天然气	2	3	5	7	8	1.21	2.24	3.45	4.44	5.06
	合计	3269	3794	4109	4256	4101	34.17	40.70	45.43	48.18	47.37
C	煤炭	3319	3996	4476	4773	4713	28.82	34.72	38.87	41.47	40.96
	石油	85	106	125	139	141	5.50	6.89	8.07	9.02	9.17
	天然气	2	4	6	8	9	1.28	2.42	3.89	5.17	6.01
	合计	3405	4106	4606	4920	4863	35.60	44.00	50.86	55.62	56.10

类、燃烧方式、燃烧条件等对 NO_x 的生成和排放都有很大影响。根据我国未来 3 类化石燃料的消费量(表 4)及其在产业部门和生活能源消费中的构成(表 6),可计算得到 3 类化石燃料在不同产业部门的消费量,同时,采用简化的方法,使用表 7 中的 NO_x 排放系数,即可计算出未来不同时期因化石燃料燃烧的 NO_x 排放量。在计算中,由于石油和天然气用于发电的份额很少,在计算 NO_x 排放量时未考虑石油和天然气用于发电时的 NO_x 排放量,而是把用于发电的石油和天然气作为工业用途部分进行计算。计算用于第一、二产业的 3 类化石燃料 NO_x 排放量时其排放系数按工业用途取值,计算用于第三

产业和生活能源消费的 3 类化石燃料 NO_x 排放量时其排放系数按民用(包括商业)用途取值,计算结果见表 8。

由于在能源消费中,烟尘排放量的绝大部分由煤炭的直接燃烧产生,石油和天然气燃烧产生的烟尘量相对很少,对我国未来因能源消费产生的烟尘量只考虑煤炭燃烧的产生量^[15],并由(1)式计算得到:

烟尘量 = 煤炭消费量 × 煤炭中灰分含量 × 灰分中飞灰含量

(1)

我国煤炭中灰分的含量一般在 25 % ~ 30 %,取中间值为 27.5 %,灰分中飞灰含量一般为 20 %。

由(1)的计算公式可以得到我国未来不同时期因煤炭燃烧所产生的烟尘量,计算结果见表9。

表6 2000~2050年我国化石燃料在产业部门及生活消费中的构成¹⁾/ %

Table 6 The fossil fuel composition of industrial and residential consumption in China, 2000 ~ 2050/ %						
燃料种类	产业部门	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
煤炭	第一产业	1.26	1.26	1.27	1.25	1.22
	第二产业	90.45	90.98	90.85	91.29	92.48
	第三产业	2.38	2.97	3.54	3.90	4.04
	生活消费	5.91	4.79	4.35	3.56	2.25
	合计	100	100	100	100	100
石油	第一产业	7.21	7.18	6.94	6.37	5.90
	第二产业	46.74	38.02	29.91	24.76	20.58
	第三产业	40.55	49.68	57.98	63.64	68.10
	生活消费	5.50	5.12	5.17	5.23	5.43
	合计	100	100	100	100	100
天然气	第一产业	0.81	1.15	1.85	2.98	4.24
	第二产业	73.12	66.80	59.80	52.67	44.38
	第三产业	12.30	16.29	20.61	23.93	27.97
	生活消费	13.76	15.75	17.74	20.42	23.40
	合计	100	100	100	100	100

1) 该表为A方案的计算结果,由于A、B、C3方案的计算结果差异很小,故未列出B、C方案的计算结果

表7 NO_x排放系数

Table 7 Emission factor of NO _x			
用途	煤炭 / kg·t ⁻¹	石油 × 10 ⁻³ / kg·L ⁻¹	天然气 × 10 ⁻³ / kg·m ⁻³
民用(包括商业)	4	1.4 ~ 8.6 ¹⁾	1.85
工业	7 ~ 18.5	8.7	3.4
电力	7 ~ 18.5	12.5	6.25

1) 本研究取中间值,煤炭的NO_x排放系数亦取中间值用于计算.资料来源:参考文献[8]

表8 2000~2050年我国能源消费的NO_x排放量 × 10⁴/t

Table 8 Emission of NO _x caused by energy consumption in China, 2000 ~ 2050 × 10 ⁴ /t						
方案	能源分类	2010	2020	2030	2040	2050
A	煤炭	1879	2098	2180	2182	2052
	石油 ¹⁾	226	250	260	261	241
	天然气	22	37	53	64	68
	合计	2127	2385	2493	2507	2360
B	煤炭	1965	2285	2468	2561	2486
	石油	236	273	296	310	297
	天然气	23	40	60	75	82
	合计	2224	2598	2825	2945	2865
C	煤炭	2047	2474	2768	2961	2948
	石油	245	293	328	354	350
	天然气	24	44	68	87	98
	合计	2315	2810	3164	3402	3395

1) 计算NO_x排放量时石油按7.25桶/t即1153L/t计算。

表9 2000~2050年我国煤炭消费产生的烟尘量 × 10⁸/t

Table 9 Emission of soot dust caused by coal consumption in China, 2000 ~ 2050 × 10 ⁸ /t					
方案	2010	2020	2030	2040	2050
A	0.86	0.96	0.99	0.99	0.93
B	0.90	1.04	1.13	1.16	1.12
C	0.94	1.13	1.26	1.35	1.33

3.2 计算结果分析和讨论

随着未来能源消费量的增加以及以煤为主的能源消费结构还未得到根本改变,我国因能源消费产生的SO₂、NO_x、CO₂和烟尘的量将大幅度增加,尤其在2000~2020年期间年均增长速度快.由于A、B方案中煤炭和石油的消费量到2040年后有下降的趋势,这2方案中SO₂、NO₂、CO₂和烟尘的产生量在2040年后也有下降的趋势,但CO₂生成量的下降趋势不明显,因为2040年后天然气消费量的增加对CO₂生成量有较大的影响.C方案中这4种物质生成量在2020年后的增长幅度较A、B方案大,从未来能源的消费量、因能源消费导致SO₂、NO₂、CO₂和烟尘的生成量来看,C方案将给我国的能源供应和生态环境带来比A、B方案大得多的压力。

由上述对因能源消费导致SO₂、NO_x、CO₂和烟尘的生成量的计算结果可以看出,因能源消费产生的SO₂、NO_x和烟尘的量中,其中因煤炭消费的生成量占了绝大部分,因石油和天然气消费的生成量相对很少;而在CO₂的生成量与化石燃料的消费总量密切相关。

要减少我国未来能源消费中SO₂、NO_x和烟尘等的生成量,必须减少未来煤炭的消费量,或者对煤炭的选、洗、液化和气化等精加工,尽可能地减少煤炭的直接燃烧.要减少我国未来CO₂的排放量,则要减少我国未来化石燃料的消费总量.在能源消费总量难以减少的情况下,要充分开发利用水能、核能以及太阳能、风能等可再生能源来替换煤炭、石油和天然气等化石燃料。

4 结论

(1) 当前我国能源效率低,产业部门能源强度高,以煤为主的能源消费结构难以得到改变,因化石燃料特别是煤炭的直接燃烧导致我国大气环境污染严重。

(2) 由于今后我国仍然是以煤为主的能源消费结构,SO₂、NO_x、CO₂和烟尘等污染物排放量依然很大.A方案是遵循可持续发展原则的强节能方案,该

方案计算得出我国到 2020 年因能源消费产生的 SO_2 、 NO_x 、 CO_2 和烟尘的量分别达到 $3483 \times 10^4 \text{t}$ 、 $2385 \times 10^4 \text{t}$ 、 $36.70 \times 10^8 \text{t}$ 和 $0.96 \times 10^8 \text{t}$ ，到 2050 年分别达到 $3383 \times 10^4 \text{t}$ 、 $2360 \times 10^4 \text{t}$ 、 $38.28 \times 10^8 \text{t}$ 和 $0.93 \times 10^8 \text{t}$ ，均比 2020 年有所减少；B 方案设定的是基准方案，能源消费产生的上述物质的量在对应时期均比 A 方案有所增加，2000~2040 年期间排放量逐渐增加，2040 年后出现了减少的趋势；C 方案则由于设定能源效率提高较慢的方案，能源消费产生的上述物质的量在对应时期比 A、B 方案特别是 A 方案大得多，并在 2000~2050 年期间一直呈现增长趋势，若今后能源消费按 C 方案趋势发展的话，将给我国生态环境带来很大的压力。

(3) 要实现我国到 2040 年能源消费量“零增长”的目标困难很大。在 2050 年前，由于我国经济增长速度相对较快，特别是在 2040 年左右我国第三产业增加值年均增长率在 5 % 左右的情况下，要实现能源消费的“零增长”，相应地，我国在那时产业部门能源强度已经比较低的情况下其年均下降率要保持在 4 % 以上，这是比较困难的。但是，我国应努力实现 2040 年左右化石燃料消费量的“零增长”，充分利用水能、核能以及大力开发风能、太阳能等清洁能源，实现我国第 3 步战略目标和可持续发展战略。

参考文献：

[1] Wang Naiyan. The energy development and the environmental protection in China[J]. Fusion Engineering and Design, 2001 , 54 :135 ~ 140 .

[2] 董锁成. 中国百年资源、环境与发展报告——1950~2050 年资源、环境与经济演变和对策[M]. 武汉：湖北科学技术出版社，2002. 329 ~ 330 .

[3] Ni Weidou, Thomas B Johansson. Energy for sustainable development in China[J]. Energy Policy, 2004 , 32 :1225 ~ 1229 .

[4] Wei Lu, Yitai Ma. Image of energy consumption of well off society in China[J]. Energy Conversion and Management , 2004 , 45 :1357 ~ 1367 .

[5] Eric Martinot. World bank energy projects in China: influences on environmental protection[J]. Energy Policy , 2001 , 29 :581 ~ 594

[6] International Energy Agency(IEA) . World Energy Outlook- 2002[M], Paris :OECD .

[7] 中国能源综合发展战略与政策研究课题小组. 国家能源战略的基本构想[N]. 中国经济时报，2003 年 11 月 10 日 .

[8] 郝吉明,马广大. 大气污染控制工程(第二版)[M]. 北京：高等教育出版社，2002. 355 ~ 356 .

[9] Xuchang Xu, Changhe Chen, Haiyin Qi, Rong He, Changfu You, Guangming Xiang. Development of coal combustion pollution control for SO_2 and NO_x in China[J]. Fuel Processing Technology , 2000 , 62 :153 ~ 160 .

[10] 周大地. 2020 中国可持续能源情景[M]. 北京：中国环境科学出版社，2003. 5 ~ 6

[11] 陈清泰. 中国的能源战略和政策——在中国发展高层论坛“能源战略和改革”国际研讨会上的主题发言[N]. 中国经济时报，2003 年 11 月 17 日 .

[12] 中国科学院可持续发展战略研究组. 2003 中国可持续发展战略报告[M]. 北京：科学出版社，2003. 133 ~ 137 .

[13] 中国科学院可持续发展战略研究组. 中国现代化进程战略构想[M]. 北京：科学出版社，2002. 25 ~ 26 .

[14] 中国科学院可持续发展战略研究组. 2004 中国可持续发展战略报告[M]. 北京：科学出版社，2004. 306 ~ 313 .

[15] 郑博福,王延春,赵景柱,等. 基于可持续发展的我国现代化进程中能源需求预测[J]. 中国人口·资源与环境，2005 , 15(1) : 47 ~ 51 .

[16] 尚金城,包存宽. 战略环境评价导论[M]. 北京：科学出版社，2003. 237 ~ 239 .