

能源与环境：中国 2020

王金南 曹东 杨金田 陈罕立 高树婷 葛察忠 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

能源与环境：中国 2020 / 王金南，曹东等著．—北京：中国环境科学出版社，2004.12

ISBN 7-80163-993-6

I. 能… II. ①王… ②曹… III. ①能源经济—经济政策—研究—中国
②环境保护—研究—中国 IV. ①F426.2 ②X

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 120219 号

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址：<http://www.cesp.cn>
电子信箱：jinhua@126.com
电话：010-67112735 传真：010-67113420

印 刷
经 销 各地新华书店
版 次 2004 年 12 月第一版 2004 年 12 月第一次印刷
印 数 4 000
开 本 787×1092 1/18
印 张 20.25
字 数 400 千字
定 价 45.00 元

【版权所有，请勿翻印、转载，违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

前 言

中国政府已经提出了到 2020 年全面建设小康社会的宏伟目标,而且把良好的生态环境质量作为全面建设小康社会的一个重要内容。随着全面建设小康社会步伐的加快,对能源生产和能源消费也提出了更高的要求。中国已经成为世界能源生产和消费大国。2002 年中国能源生产总量为 13.9 亿 t (标煤)¹,居世界第三位,能源消费总量 14.8 亿 t (标煤),居世界第二位。相应的二氧化硫和二氧化碳排放量分别居世界第一位和第二位。能源是国民经济发展的动脉,能源供应的安全及其污染控制直接影响全面建设小康社会目标的实现,尤其是以煤炭为主的能源结构将大量排放传统大气污染物和温室气体,继续成为影响区域环境质量和人体健康的重要因素,同时,随着人民生活水平的提高和城市化进程的加快,交通运输排放所引起的城市环境问题在某些地区已经相当严重。

为此,中国环境规划院在美国能源基金会、国家环境保护总局以及原国家电网公司的支持下,开展了一系列有关能源与环境战略及其政策框架的研究。这些研究包括:一是 2004 年完成的《能源环境以及公众健康研究》;二是 2003 年完成的《环境可持续发展的电力行业体制改革研究》;三是 2003 年完成的《电力行业二氧化硫中长期减排战略规划研究》;四是目前正在研究的《可持续的交通能源环境政策研究》。同时,中国环境规划院在开展这些研究项目的同时,还开展了国家酸雨中长期控制规划、电力行业二氧化硫排放交易、利用排放绩效控制电力二氧化硫、电力行业排放绩效折价政策、电力行业排放绩效分配机制等研究。本书主要基于前面四个研究成果的基础,对全面建设小康社会的未来 20 年的能源需求、能源环境挑战、环境与公众健康进行了预测,同时重点选择电力行业和交通运输行业,对这两个行业未来 20 年的污染排放及其控制进行了研究,提出了实现全面建设小康社会的能源环境政策框架。

在开展上述研究项目过程中,我们得到了美国能源基金会中国可持续能源项目首席代表杨富强博士,国家环境保护总局周建司长、张力军司长、王耀先巡视员、过孝民副司长、刘启凤副司长,李蕾处长、赵建中处长、房志副处长,原国家电网公司科技环境部詹仲晦主任、陈继录处长,国务院发展研究中心产业研究部副部长

¹ 数据不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省,全书同。

冯飞博士、国家发改委能源所周凤起研究员、中国科学院国情研究中心王毅研究员、中国环境科学研究院陈复研究员的大力支持和指导。同时，我们还得到了美国电力监管援助机构 David Moskovitz 先生、美国麻萨诸塞州环保局 Nancy Seidman 女士和美国自然保护同盟 Barbara Finemore 女士的指导和合作。在此，我们对她（她）们给予的支持、帮助和指导表示诚挚的感谢。

中国环境规划院的张治忠高工和逯元堂助理研究员参加了《能源环境以及公众健康研究》。安达、童凯和杨冬华三位同学参加了《可持续的交通能源环境政策研究》，为本书相关部分提供了部分素材。中国环境规划院为本书的出版提供了财政上的支持。我们表示衷心的感谢。

作者

2004年6月22日

内容提要

党的“十六大”提出了到 2020 年全面实现小康社会的奋斗目标，环境需求是全面实现小康社会的重要内容。能源是国民经济发展和社会活动的基础。中国的能源结构决定了煤炭在中国未来相当长的时期内仍将是主要能源，因此，能源活动过程中产生的环境问题将随着能源生产和消费的增长而日趋严峻，煤炭燃烧仍然是中国未来大气污染物排放的主要来源，是影响区域环境质量和人体健康的重要因素，同时，随着人民生活水平的提高和城市化进程的加快，机动车尾气排放所带来的城市环境问题在某些地区已经相当严重。

随着中国全面建设小康社会步伐的加快，对能源生产和能源消费也提出了更高的要求。中国已经成为世界能源生产和消费大国。2002 年中国能源生产总量为 13.9 亿 t (标煤)，居世界第三位，能源消费总量 14.8 亿 t (标煤)，居世界第二位。相应的二氧化硫和二氧化碳排放量分别居世界第一位和第二位。中国是一个发展中国家，按照世界各国发展经历，在全面建设小康社会、实现人均 GDP 达到 3 000 美元过程中，中国的能源需求正处于持续增长阶段；中国目前大气环境形势依然十分严峻，能源结构和过高的能源消费强度，使中国的大气污染防治面临着沉重的压力。未来 20 年中国能源发展面临着环境需求、环境容量、环境管理要求和全球气候变化等四大环境挑战。中国政府和能源生产消费部门，必须积极面对这些挑战和压力，以科学发展观为指导，制定相应的政策，采取一定的措施，使能源发展和环境健康影响降至最低。

1 能源活动对环境和健康造成了极大危害

中国传统的以煤炭为主的能源结构决定了能源消费活动中要排放大量污染物，造成了城市环境质量恶化，不仅带来经济运行成本的增加，而且严重威胁到人民群众的身体健康。能源活动对环境与健康的影响将是未来中国社会和经济发展的突出问题之一。

1.1 主因：以煤为主的能源结构

根据地矿部门的普查和勘探，中国预测资源总量为 40 017 亿 t (标煤)，在能源

资源中，煤炭占绝对的优势。若以常规能源资源总量为 100，那么煤炭资源量在 85 以上，水能占 12，石油和天然气仅占 2~3。多年来，中国已经形成了以煤为主，多能互补的能源生产和消费结构，但能源资源条件决定了我国以煤为主的能源消费结构在短期内难以转变，未来煤炭仍将在整个能源过程中发挥不可替代的作用。

中国煤炭资源大多属于中低硫煤和中灰煤，但由于长期以来缺乏对生产和消费洗清煤炭的刺激，煤炭消费量的 80% 是原煤直接燃烧。中国煤炭的 60% 以上用于发电，但由于种种原因，火电行业的燃煤污染并没有得到很好的控制；此外，以煤炭为燃料的工业锅炉和民用锅炉也是大气中二氧化硫、烟尘的主要污染来源。目前有些地区城市居民燃煤做饭或取暖，居民区和商业区的集中供热许多是由小型燃煤锅炉提供的。随着餐饮等第三产业的发展，使用煤灶的餐厅和饭店增多，如此多的燃煤污染源必然导致大范围的室内和室外大气污染。

因此，大量低效的燃煤设备，传统的用煤方式和煤炭的品质，污染治理力度不够决定了煤烟型污染仍将是我国未来相当长的时期内大气污染的主要方面，也决定了由能源结构导致的煤烟型污染在短期内难以有效得到全面的遏制。

1.2 表现：污染物排放居高难下

大气污染物排放

中国大气环境污染与能源消费有直接的关系，从有关部门的统计来看，煤炭使用过程产生的污染是中国最大的大气环境污染问题。全国烟尘排放量的 70%、二氧化硫排放量的 90%、氮氧化物的 67%、二氧化碳的 70% 都来自于燃煤。2000 年，中国能源消费总量达到 130 119 万 tce，二氧化硫排放量为 1 995 万 t，烟尘排放量达到 1 165 万 t，可以说，中国主要大气污染物的排放量都居世界第一位。

在大气污染物排放中，SO₂ 排放与电力行业发展密切相关。燃煤电厂是煤炭的主要用户，电力耗煤占煤炭总产量的 60%，同时也是 SO₂ 排放大户。据统计，2000 年，燃煤电厂 SO₂ 排放量 810 万 t，占全国排放总量的 41%。自 1990 年代以来，无论从排放总量还是占总排放量的比例，电力行业排放的二氧化硫都趋于上升的趋势。

除了能源消费过程中的污染物排放外，能源在开采、炼制及供应过程中，也会产生大量有害气体，严重影响着大气环境质量。如采掘业 2000 年 SO₂ 排放量为 33.08 万 t，烟尘排放量为 21.5 万 t；石油加工及炼焦业排放 SO₂ 37.8 万 t，烟尘 24.8 万 t；电力煤气及水的生产供应业 SO₂ 排放量为 719.9 万 t，烟尘排放量约 300 万 t。2000 年，能源生产相关行业烟尘排放量占全国烟尘总排放量的 29.8%，对大气环境造成严重的污染。

水污染物排放

据调查,全国 96 个国有重点矿区中,缺水矿区占 71%,其中严重缺水矿区占 40%。随着煤炭开采强度和延伸速度的不断加大提高,矿区地下水位大面积下降,使缺水矿区供水更为紧张,以致影响当地居民的生产和生活。另一方面,大量地下水资源因煤系地层破坏而渗漏矿井并被排出,这些矿井水被净化利用的不足 20%,对矿区周边环境形成新的污染。

据统计,中国煤矿每年产生的各种废污水约占全国总废污水量的 25%。2000 年,全国煤矿的废污水排放量达到 27.5 亿 t,其中,矿井水 23 亿 t,工业废水 3.5 亿 t,洗煤废水 5 000 万 t,其他废水 4 500 万 t。

二氧化碳排放

二氧化碳排放与能源结构、消费量和能源效率等密切相关。中国是世界上仅次于美国的 CO₂ 排放量大国,1990 年至 2000 年中国 CO₂ 排放量由 6.66 亿 t 碳增至 8.81 亿 t 碳,由占全球排放量的 11.6% 增至 13.7%。由于人口较多,中国人均 CO₂ 排放量低于世界平均水平;近年来,能源利用效率的提高和技术的不断进步,每万元 GDP 的 CO₂ 排放量在逐步下降。

1.3 影响:高昂的经济和公众健康成本

造成大气污染和酸雨污染

大量能源(尤其是煤炭)的使用过程排放出大量的污染物,造成了中国城市空气质量的严重恶化。2001 年世界银行发展报告列举的世界污染最严重的 20 个城市中,中国占了 16 个。2002 年统计的 341 个城市中,达到或优于国家空气质量二级标准的城市,城市空气质量达到三级标准的城市和空气质量劣于三级标准的城市各占 1/3。与煤炭使用密切相关的颗粒物仍然是影响中国空气质量的主要污染物,64.1% 的城市颗粒物年均浓度超过国家空气质量二级标准,其中 101 个城市颗粒物年均浓度超过三级标准,占统计城市数的 29.2%。

研究表明,中国 1990 年代的酸雨属硫酸型。燃煤等人为活动所排放二氧化硫是造成酸雨的主要原因。1990 年代中期酸雨区面积比 1980 年代扩大了一百多万平方公里,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。

能源污染的经济成本

中国从 1980 年代初开始研究环境污染造成的经济损失。综合不同研究机构的研究成果,中国的大气污染损失已经占到 GDP 的 2%~3%。世界银行根据目前发展趋

势预计，2020 年中国燃煤污染导致的疾病需付出经济代价达 3 900 亿美元，占国内生产总值的 13%。这应该引起中国政府的高度重视。

目前，造成中国大气污染损失的主要污染物为 SO_2 。在 SO_2 污染损失估算方面，引用较多的是中国环境科学研究院完成的《国家酸雨控制方案》研究结果：1995 年酸雨和 SO_2 排放造成的损失达 1 100 亿元。

大气污染对健康的影响

大气污染严重的地区，呼吸道疾病总死亡率和发病率都高于轻污染区。慢性支气管炎随大气污染程度的增高而加重。1974—1982 年，中国有关部门对大气污染中的二氧化硫粉尘浓度和人群死亡率逐年动态变化的关系进行了调查，发现二氧化硫浓度每增加 $0.100\text{mg}/\text{m}^3$ （基数是 $0.40\text{mg}/\text{m}^3$ ），呼吸系统疾病死亡人数将递增约 5%。在中国 11 个最大城市中，空气中的烟尘和细颗粒物每年使 5 万人夭折，40 万人感染上慢性支气管炎。

近年来国内不少学者进行了室内不同燃料燃烧后污染物对人体健康的影响研究。王黎华等调查了北京市 40~65 岁做饭的妇女，结果表明燃煤户妇女呼吸系统疾病出现率 50.4%，煤气户为 40.0% ($P<0.05$)，相对危险度为 1.94（尹先仁，1996）。中国西南地区是高硫烟煤的重要产区，对地处西南的贵州省某村进行的燃煤危害调查结果表明，敞灶燃煤室内空气二氧化硫、砷和氟的浓度超标 3.2~64 倍，室内存放的大米、玉米和辣椒的砷、氟含量超标 1.1~1 126 倍（曹守仁，1992）。目前，在中国大多数农村和中小城镇中，敞灶燃煤型烹调 and 取暖十分普遍，由此引起的室内空气污染也相当严重。

2 未来 20 年能源发展面临四大环境挑战

中国未来经济和社会的发展需要有相应的能源发展提供支撑和保障，而能源的发展必然增加环境质量恶化的风险。另一方面，随着全面建设小康社会目标的提出，环境质量改善已经成为人们追求美好生活的重要内容，因此，未来中国能源的发展，必须满足环境的要求，面对环境提出的挑战。

2.1 过度能源消费将使环境小康目标难以实现

环境小康是中国 2020 年全面实现小康社会的重要内容之一。衡量全面建设小康社会的指标应包括经济社会的各个方面，环境保护就是其中最重要的内容之一。

根据全国环境保护模范城市、生态省、生态市和生态示范区（县）等考核指标，参照发达国家的能源与环境发展的经验，提出了未来 20 年中国能源发展的 27 个环境需求指标。指标体系从大气环境质量和城镇生活环境的质量需求出发，对中国未

来能源利用目标、能源消费水平、污染物治理目标和排放总量目标等提出了具体的要求，能源发展也只有满足这些要求，才能够实现环境小康的建设目标。

能源发展，煤炭使用量的加大，必然造成大气污染物的排放，城市机动车保有量的增加带来了机动车污染的日益加剧，环境小康所要求的城市大气环境质量和区域的酸雨污染控制目标受到严重的威胁，环境小康的要求对中国能源发展提出了严峻的挑战。

根据未来 20 年全面建设小康社会不同能源需求的 3 种情景方案，预测未来 20 年能源消费的污染物产生量。从预测结果来看，到 2010 年，中国煤炭消费将达到 16.9 亿~19.9 亿 t，而到 2020 年，原煤消费将达到 20.5 亿~29.0 亿 t。很显然，高方案能源需求对环境的潜在压力最大，如果不采取强有力的措施，能源活动所带来的污染物排放将持续增加，环境小康的目标将难以实现。按高方案煤炭消耗估算，2020 年二氧化硫、氮氧化物和二氧化碳产生量与 2000 年的产生量比较，分别上升 49%、116%、66%。

能源发展带来的污染物排放和机动车尾气的污染主要集中在城市地区，城市人口是城市大气污染的主要受害者。如果在能源发展的同时，城市大气环境得不到有效的治理，空气环境质量持续恶化，那么到 2010 年城市中受大气污染的人口将达到 3.4 亿人，2020 年将达到 4.9 亿人，分别占同期全国总人口的 24.7% 和 33.3%。参照沈阳市和北京市有关大气污染对人体健康影响的研究，如果在未来 20 年内环境质量继续恶化，则城市中受大气污染影响而早亡的人数会有所增加，2010 年和 2020 年全国因大气污染而早亡的城市人口将分别达到 38 万人和 55 万人，相应的经济损失分别为 280 亿元和 410 亿元。

2.2 污染控制力度不足将使环境质量持续恶化

随着能源消费总量的持续增长，二氧化硫和氮氧化物的产生量也将持续增加。但是大气环境容量的资源是有限的。

中国环境科学研究院的研究表明，在全国能源结构、产业结构、城市布局、气象条件等没有发生重大变化以及不考虑新疆和西藏地区的前提条件下，全国 SO₂ 排放量控制在 1 200 万 t 左右的情况下，全国大部分城市的 SO₂ 浓度才可以达到国家二级标准。中国环境科学研究院的《酸雨控制国家方案》研究表明，为了满足硫沉降临界负荷的要求，中国二氧化硫年排放总量水平应最终控制在 1 620 万 t 左右。但是，从表 2 对能源发展的污染物排放量的预测来看，到 2010 年和 2020 年，即使按照低发展方案的计算，二氧化硫的产生量也将分别达到 2 680 万 t 和 2 789 万 t 的水平，而按照高发展方案，二氧化硫产生量将达到 3 174 万 t 和 3 945 万 t，都远远超过了达到环境目标所要求的环境容量。

据分析测算，在煤炭含硫量 1% 的情况下，只有当脱硫率达到 75% 的水平时，

煤炭的消费上限是 28.2 亿 t，接近预测的 2020 年的用煤高方案。因此，从二氧化硫环境容量来考虑，中国要想增加煤炭的消费，只有两条路可走，一是提高脱硫效率，二是降低煤炭的含硫量。从 2003 年电力行业不足 10% 的脱硫率和中国煤炭的煤质条件来看，要实现上述目标是非常困难的。

氮氧化物控制相对二氧化硫来说，研究基础比较薄弱，国家也还没进行总量控制。但是，如果对能源活动产生的氮氧化物排放不加控制，根据表 2 的预测（低方案），仅燃煤产生的氮氧化物就可能从 2000 年的 1 880 万 t 的水平分别增加到 2010 年和 2020 年的 2 467 万 t 和 2 870 万 t 的水平。如果加上汽车尾气排放的氮氧化物，未来 20 年氮氧化物的产生量还增加。因此，未来 20 年减排氮氧化物的任务将比减排二氧化硫还要严峻。

2.3 日益严格的环境要求将使能源依赖型企业无法生存

随着中国环境保护要求和目标的不断提高，对企业在环境管理方面也提出了更高的要求。污染物排放总量控制和排放标准是包括能源生产和消费企业在内的企业所必须面临的挑战。

“十五”期间，中国主要污染物排放总量控制从“九五”时期的“持平”转变到“十五”期间的“递减 10%”的控制目标。无论是“持平”或是“递减 10%”，都要求污染治理速度超过经济增长速度。按照这一要求，中国“十五”时期的二氧化硫将从 2000 年的 1 995 万 t，下降到 2005 年的 1 820 万 t。

就电力行业而言，按照 2005 年二氧化硫排放量比 2000 年削减 10%~20% 计算，新老机组同时采取控制措施这是实现递减控制目标的关键。为完成总量控制目标，到 2005 年脱硫机组至少应占火电机组容量的 40% 左右。预计在未来两年完成这一目标不太可能。要实现未来 20 年电力行业二氧化硫削减目标，安装脱硫装置（FGD）的火电机组占总火电机组的比例（以装机容量计算）预计 2020 年该比例要达到 70% 左右。

对于能源生产和耗能企业来说，环境标准主要控制对象是火电行业及其排放的大气污染物。于 2004 年颁布实施的《火电厂大气污染物排放标准》，参照国际先进标准将大幅度提高二氧化硫排放限值，新建火电厂无论煤炭硫分如何，必须脱硫方能达标，老火电厂在预告期后与新电厂执行同时段标准，除缓冲建设期限外，也必须按规定进行脱硫。同时，对火电厂的氮氧化物削减提出了要求。

因此，能源生产和耗能企业，尤其是火电行业，必须采取积极有效的措施削减污染物排放，改善环境行为，这不仅是满足环境管理要求的需要，更是企业长远发展和强化竞争能力的需要。在未来的市场竞争中，绿色企业和绿色产品无疑具有非常的优势。

2.4 国际履约将使能源部门付出高昂的经济成本

根据国家发改委能源所《2020年中国能源需求情景分析》的分析和预测，2020年中国二氧化碳排放量在13亿~20亿t之间，分别为1998年全国二氧化碳排放量的1.5~2.2倍。到2020年，中国人均碳排放水平在0.9~1.3t之间。

根据有关预测，中国2020年以后将不可能回避温室气体排放削减的承诺。随着温室气体削减水平的提高，二氧化碳的边际削减成本趋于上升。到2020年，即使承诺削减10%的目标，每年需要的削减费用也达到五百多亿元。

就碳排放控制和削减而言，能源部门具有不可推卸的责任和义务，因此，未来一个时期内，中国能源的发展将受到来自全球环境的压力。温室气体减排所要求的经济投入和外部不经济性，将迫使中国的能源部门在发展过程中必须重新定位，同时也将对中国整个经济发展产生一定的影响。

3 建立能源与环境可持续发展政策框架

目前，中国对能源活动实施的是一种分散的多部门管理模式，相关部门对能源的生产和消费都有一定的要求。能源管理的特点是以项目为主。由于人员少和精力有限，难以对能源工业的发展，站在大局的高度，制订全面、统一和科学的战略方案，也难以针对国内外能源的变化采取及时有力的措施。由于能源管理体制分散，造成能源方面的法律法规不一致，相互矛盾。

未来20年，中国能源环境政策目标是：在保证全面实现小康社会和保障国家能源安全的前提下，最大程度地降低能源生产与消费带来的环境成本，保护公众健康和良好的自然环境，减缓全球温室气体的排放，积极促进建立氢能源、氢经济社会体系，实现能源与环境的可持续发展。

为了实现上述目标，中国未来20年的能源环境战略为：

- ❖ 把节约能源资源提升到基本国策的高度，建立终端用能设备能效标准和标识体系，建立市场经济条件下的节能新机制。
- ❖ 通过政府驱动、公众参与、总量控制、排污交易四个方面推动环境友好能源战略。
- ❖ 提高排污收费标准、实行排放交易和电力环保折价，取消对高耗能产品的生产补贴，实现能源环境成本内部化。
- ❖ 依靠科技进步推进能源结构调整和能源绿色化，严格控制城市交通环境污染，积极应对全球气候变暖的挑战。

3.1 能源与环境可持续发展政策矩阵

从中国能源发展的趋势和环境保护的要求来看，实现能源与环境的协调发展，必须要长期实施节能优先战略，推进能源结构“绿色化”进程，大力发展环境友好能源和氢能源，推行农村能源的可持续发展。

实行节能优先政策。节能政策是实现环境与经济“双赢”的战略，从环境保护的角度出发，长期实施节能优先的战略就是能源与环境协调发展的首选政策。建议加快理顺节能管理体制，政府机构应率先示范节能，促进节能与清洁生产一体化。利用排污收费政策促进节能政策的实施。

促进能源结构“绿色化”。建立环境友好的能源结构调整是中国能源可持续发展的长期任务，也是中国社会经济发展和环境保护的必然要求。建议逐步降低城市能源煤炭使用比例，大力发展低碳无碳能源、氢能源和可再生能源。

依靠技术进步削减污染。一方面利用环境标准推动能源技术进步、降低单位经济活动的能源消费，实现发电排放绩效与发电煤耗标准、环境标志与能效标准、汽车排放标准与燃料经济性标准的衔接。另一方面，大力开发低污染排放发电技术、零排放技术以及高效脱硫脱氮技术，加快提高汽车排放标准，发展低排放甚至零排放汽车。

运用经济手段促进环境友好能源。在未来 20 年建立和完善市场经济过程中，应全面运用市场经济手段控制污染，促进能源的可持续发展。市场手段可以从两个方面着手：一是利用硫税、氮税、生态环境补偿、电力环保折价等税收价格政策实现能源活动环境成本内部化，二是利用排污交易、绿色电力市场、可再生能源配额信用等市场交易手段降低削减污染的社会成本。

3.2 若干当前应特别关注的政策领域

加快电力脱硫进程

电力行业（尤其是火电）将是中国未来 20 年能源行业发展最快的行业。火电行业未来 20 年削减二氧化硫和氮氧化物将直接影响国家大气污染物总量控制目标的实现。电力污染控制将是中国酸雨和二氧化硫污染控制的重点。研究建议 2020 年中国电力行业二氧化硫和氮氧化物排放控制目标分别确定为 590 万 t 和 765 万 t。

目前火电厂减排二氧化硫的主要途径有：煤炭洗选、洁净煤燃烧技术、燃用低硫煤和烟气脱硫。各种技术的选择和减排方式的组合是一种综合性的判断和决策过程。根据电力行业目前二氧化硫控制现状和管理基础以及二氧化硫排放控制目标的要求，各阶段的减排技术路线为：2005 年前，燃用低硫煤和脱硫工程措施起步阶段；2006—2010 年，低硫煤和烟气脱硫的混合阶段；2011—2020 年，全面烟气脱硫阶段。

目前已经采用的低 NO_x 排放技术措施基本分为两类：燃烧控制和烟气控制。中国燃煤电厂在氮氧化物排放控制方面起步相对较晚，国家排放标准于 1997 年 1 月才对新建大型燃煤电厂 NO_x 排放提出限值要求。1980 年代中后期在引进的一批先进大容量燃煤发电机组的同时，引进了锅炉低 NO_x 燃烧器的制造技术，在此基础上，结合中国煤质、制粉系统特点，开发了低 NO_x 燃烧系统。目前，在有条件的地区，正在推广低氮燃烧技术，研究低成本的燃烧后脱硝技术设备。

在环境经济政策与管理措施方面，建议：开展排污权交易试点，实施电力环保折价标准，实施严格的电力行业排放标准，引入发电排放绩效管理机制，推行电厂环境信息公告制度，加强监督管理能力的建设等。

建设西电东送绿色工程

“十五”期间，国家将重点加快实施“西电东送”南线的电源和输电线路建设。按照“西电东送”南部通道的战略规划建议，“十五”期间，在云、贵两省交界的狭长地带内将新建十余座火电厂，新增供电能力 600 万 kW，如果“十五”期间不采取任何措施，贵州省火电项目将新增二氧化硫排放量 20.17 万 t，云南省火电项目将新增二氧化硫排放量 13.68 万 t。如此集中地在滇东和黔南酸雨控制区及周围的区域建设大规模的火电厂，若不采取严格环境保护措施，将对当地和周边地区的大气质量以及我国“十五”期间二氧化硫排放总量控制目标的实现产生一定的影响。

为了实现“十五”期间二氧化硫排放的总量控制目标，贵州三个新建电厂脱硫需要资金 18 亿元；云南新建电厂脱硫需要资金 3.6 亿元。贵州省现役火电脱硫需投资 14.6 亿元（单位千瓦投资在 600~659 元），云南省现有火电厂脱硫需要的投资为 4.1 亿元；云贵两省脱硫共需资金 40.3 亿元。

因此，在建设“西电东送”项目的同时应加大二氧化硫治理的投入，采取有力的治理措施，确保二氧化硫排放满足国家和地方“十五”期间总量控制的要求，空气质量能够有所改善，实现建设“西电东送”绿色工程的目标。

建议国家逐步提高二氧化硫排污收费标准并扩大收费范围，使其接近或高于治理成本，真正使污染控制成本成为产品总成本的组成部分，形成谁污染谁就会在经济上受损失的机制，促使排污企业积极增加投入，主动治理污染。在云、贵两省试行二氧化硫排放权交易制度，发挥市场机制在二氧化硫控制方面的作用。在实行总量控制和达标排放的前提下，逐步建立二氧化硫排放权交易制度，使全社会二氧化硫与酸雨污染防治的成本不断降低。

国家应尽快组织开展云贵两省“西电东送”火电项目的脱硫可行性研究，制定切实可行的二氧化硫削减计划和方案，以最低成本实现二氧化硫的削减目标。同时，建立一定的监督机制，确保二氧化硫减排目标的实现和国家有关二氧化硫污染与酸雨防治目标的实现。

一体化削减交通环境污染

机动车是整个交通运输系统的一部分，面对资源和环境的双重压力，机动车污染问题的解决，除了加强机动车管理，使用清洁燃料等针对机动车本身的解决方案外，必须从整个交通体系的完善和燃料结构的改善入手，从根本上减少机动车污染的排放。主要措施有：改善综合运输体系，发展低耗能、少污染的运输方式；制定不同运输方式与环境协调的发展政策；利用新技术，改善交通能耗结构；加强各种运输方式的协调合作。

机动车带来的城市环境污染主要是尾气。对汽车尾气治理的目的是使车辆的排放水平达到一定的标准，使空气质量不影响人类的健康，实现这样的目标需要制定条件许可的、符合经济和社会承受能力的综合性战略措施。建议的政策主要有：发挥车辆、燃料和法规“三架马车”的作用，减少机动车尾气污染；合理有效地控制机动车交通运输量的发展；大力发展公共交通工具和无污染的交通工具；实施机动车的全过程控制与生命周期管理；运用税收等经济手段鼓励清洁、节能运输方式的发展；采取部门协调，加强综合决策。

大力发展农村可再生能源

未来 10 年或者 20 年中国农村能源环境保护的目标：一是提高农民的生活水平，有利于促进农村实现小康社会；二是农村生态环境的改善；三是降低农村室内空气污染，提高农民的健康水平。解决中国农村能源环境污染的根本途径是大力发展适合农村的现代可再生能源，减少污染环境、危害健康和破坏生态的柴薪和秸秆能源使用。农村能源的发展目标主要是提高农民的生活水平，保障农民的身体健康，促进农村小康社会的实现。大力发展农村可再生能源，迫切需要解决支持农村可再生能源发展的政策问题，尤其是如何尽快降低农民低收入群体“享受”可再生能源的费用。

建议在综合国家目前实施的乘风计划、光明工程、农村能源综合建设、秸秆气化示范工程、全国百县小水电计划、生态家园富民计划等农村能源建设计划的基础上，制定和实施《国家农村绿色能源计划》，促进农村可再生能源的发展。该计划的重点放在提高农村能源使用能效方面，提倡节水灌溉技术，鼓励使用高效、低毒、低残留农药，组织农民开展合理施用技术的培训。以生态富民计划为基础和突破口，积极发展生态农业，如综合利用沼气等。

在中国的农村可再生能源发展过程中，如果目前农民低收入群体“享受”清洁、昂贵和现代的可再生能源的问题不能有效地得到解决，那么农村的可再生能源发展就会走入“死胡同”，而且也会影响农民实现小康社会的进程。为此，国家应制定相应的鼓励政策，支持农村加快发展可再生能源，让农民真正建得起并且用得起这些

昂贵、清洁、现代的可再生能源。

4 实施中长期电力行业二氧化硫减排规划

电力是国民经济发展的基础,在未来 15~20 年的时间内,中国经济发展仍将保持较高的增长速度,电力需求也将随着经济的发展而持续增长。中国以煤炭为主的能源结构决定了火电将在中国能源结构中占有主导地位,随着水电开发和新能源的发展,煤电在能源结构中所占的比例会有所降低,但煤电总量仍将会有所增加。火电生产发展,尤其是煤电生产的发展情况,从根本上决定了电力行业依然是中国中长期减排二氧化硫的重中之重。

4.1 电力发展依然主导二氧化硫排放的增长

燃煤发电行业的发展趋势

根据全面建设小康社会的能源需求,综合预测:

- ❖ 到 2005 年,全国发电装机容量在 3.7 亿~4.3 亿 kW,发电量在 16 400 亿~20 000 亿 kW 时,火电装机容量在 2.8 亿~3.3 亿 kW,发电量在 16 000 亿 kW 时左右。
- ❖ 到 2010 年,全国装机容量预计在 4.5 亿~5.6 亿 kW 左右,发电量在 25 000 亿~26 000 亿 kW 时左右,火电装机容量为 3.9 亿~4.4 亿 kW,火电发电量为 19 000 亿~21 000 亿 kW 时。
- ❖ 到 2015 年,全国发电装机容量预计达到 6.5 亿~7.5 亿 kW,发电量达到 30 000 亿 kW 时左右,火电装机容量达到 4.5 亿~5.2 亿 kW,火电发电量在 22 000 亿~28 000 亿 kW 时左右。
- ❖ 到 2020 年,全国发电装机容量预计达到 9.5 亿 kW,其中火电装机容量达到 6.6 亿 kW。

燃煤发电二氧化硫产生量预测

根据社会经济发展的基础情景方案、低发展方案和高发展方案,考虑技术进步以及低硫煤的供应,预测未来 20 年燃煤发电二氧化硫的产生量:

- ❖ 2005 年在 1 300 万~1 490 万 t; 2010 年在 1 550 万~1 900 万 t; 2015 年在 1 830 万~2 320 万 t; 2020 年在 2 110 万~2 700 万 t。
- ❖ 以基础情景方案为参考,2005 年、2010 年、2015 年、2020 年燃煤发电二氧化硫产生量分别为 1 400 万 t、1 710 万 t、2 000 万 t、2 360 万 t,分别是 2000 年燃煤发电二氧化硫排放量(890 万 t)的 1.57 倍、1.92 倍、2.25

倍、2.65 倍。

- ❖ 以基础情景方案为参考，2010 年和 2020 年燃煤发电二氧化硫产生量分别占全国二氧化硫产生量（中方案）的 56% 和 69.4%。

4.2 明确电力行业的二氧化硫控制目标

电力行业二氧化硫减排的总体思路

- ❖ 严格控制 从国家对环境目标的总体要求出发，严格控制电力行业二氧化硫排放，这也是减排规划的基本出发点和要求。电力行业二氧化硫中长期减排必须符合国家二氧化硫的中长期控制目标，同时还要考虑“十一五”期间新控制的氮氧化物减排。
- ❖ 结合实际 要考虑目前中国电力行业二氧化硫削减的实际状况，分阶段提高削减能力。中国目前电力行业二氧化硫削减能力较弱，要想在短期内迅速提高二氧化硫的削减量，存在多方面的困难，因此，电力行业二氧化硫的减排必须从中国的实际出发，量力而行。
- ❖ 确保实施 要保证规划编制的可操作性，规划目标和减排方案的提出均要有一定的环境管理能力和资金支持，只有这样，才能够使规划的实施得以落实，确保电力行业二氧化硫的削减。

国家和电力行业二氧化硫控制目标

- ❖ 到 2005 年，全国二氧化硫排放总量控制在 1 800 万 t 左右，届时火电行业二氧化硫排放至少控制在 800 万 t。考虑到“两控区”更加严格的削减要求，建议 2005 年火电行业二氧化硫的控制目标为 764 万 t。
- ❖ 建议 2010 年全国二氧化硫排放控制目标定为 1 650 万 t 左右，电力行业 2010 年削减目标在 2005 年的基础上再削减 10%，二氧化硫排放控制目标为 688 万 t。
- ❖ 建议 2015 年全国二氧化硫控制目标在 2010 年目标的基础上再降低 8%，二氧化硫排放总量控制目标为 1 520 万 t 左右，电力行业二氧化硫削减将在 2010 年中方案的基础上再削减 10% 左右，排放控制目标为 620 万 t。
- ❖ 建议 2020 年全国二氧化硫控制目标在 2015 年的水平上再降低 8%，达到 1 400 万 t。考虑到电力行业二氧化硫削减难度的进一步的加大，电力行业的削减目标则在 2015 年的基础上再削减 5%，二氧化硫排放控制目标为 590 万 t。
- ❖ 考虑到目前火电厂已经具备 20 万 t 的二氧化硫削减能力，则 2005 年、2010 年、2015 年、2020 年的新增削减量分别为 616 万 t，386 万 t、358 万 t 和 390 万 t。假设全部采用烟气脱硫，那么 2005 年、2010 年、2015 年和 2020

- 年火电机组装机容量中脱硫机组比例分别为 44%、56.3%、62.7%和 67.9%。
- ❖ 从重点削减对象来看，建议年排放量大于 5 000 t 并且排放绩效大于 7.3g/(kW·h) 的 105 家电厂为“十五”期间的重点削减对象。此外，国家环保总局根据环境质量和总量控制的要求，对原国家电力公司所属电厂也提出了“十五”期间明确的削减任务和目标，要求“十五”期间全国 74 家电厂削减二氧化硫。

电力二氧化硫减排的社会经济影响

- ❖ 根据上述减排目标，预计“十五”、“十一五”、“十二五”和“十三五”期间电力行业二氧化硫削减的新增投资分别为 726 亿元、485 亿元、483 亿元、546 亿元。如果采用湿法脱硫，那么电力行业在“十五”、“十一五”、“十二五”和“十三五”期间，分别新增 111 亿元、69 亿元、64 亿元和 70 万元的运行费用。
- ❖ 电力行业 2005 年、2010 年、2015 年、2020 年的二氧化硫削减量分别为 636 t、1 022 t、1 380 万 t 和 1 770 t（包括老源和新源），减少的污染损失值每年减少的污染损失值分别为 159 亿、255.5 亿 345 亿元和 442.5 亿元。如果按照高估计值计算，其效益分别为 318 亿、511 亿 690 亿元和 885 亿元。
- ❖ 由于不同的行业对电力消耗量不同，因此电力二氧化硫减排对行业生产成本造成的影响有很大的差异。根据模拟分析，2005 年、2010 年、2015 年全国行业因实施电力行业二氧化硫减排后引起的生产成本上升分别为 206 亿元、296 亿元、512 亿元。
- ❖ 电力行业脱硫除了对减少由于酸雨和酸沉降造成的损失外，脱硫作为一个产业还会对国民经济的增长产生拉动作用，同时增加就业机会。根据测算，到 2020 年电力行业脱硫对各行业产生的经济拉动产值为 1 012 亿元。同时，可以提供 292 万个就业机会。

4.3 营造鼓励电力二氧化硫减排的政策空间

强化政府监管

- ❖ 完善减排的法律法规。国家正在修订《电力法》和制定《可再生能源开发利用促进法》，应积极抓住这一契机，增加有关电力行业二氧化硫减排的有关法规和条款。如增加排放绩效标准、实行二氧化硫排污权交易制度、排污许可证制度、建立二氧化硫治理专项基金及清洁能源和可再生能源的开发利用基金等。
- ❖ 严格依法监督管理。为了保障对二氧化硫排放总量的监督和监测，应要求