

科学前沿 与未来

第十一集

香山科学会议 编



科学出版社
www.sciencep.com

科学前沿与未来

(第十一集)

科学出版社

北京

内 容 简 介

香山科学会议是由科技部(原国家科委)发起,在科技部和中国科学院的共同支持下于1993年正式创办的。至今已举办339次学术讨论会,出版系列文集10册。

香山科学会议2007~2008年共组织召开了45次学术讨论会,会议主题涉及生命科学、物理学、环境科学、化学、数学、地学、医学、能源技术、空间技术及管理学科等多学科交叉的前沿热点问题。我们从这两年的学术讨论会中,遴选了十几篇一流的综述性文章,编入《科学前沿与未来》系列文集第十一集,以便及时提供给政府有关决策部门、科技管理部门和有关专家学者在制定国家重大科技政策、部署国家科技发展规划和考虑重大科技立项时作为参考,也可供相关领域的科研人员 and 高等院校的教师、研究生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

科学前沿与未来. 第11集/香山科学会议编. —北京:科学出版社, 2009

ISBN 978-7-03-023972-3

I. 科… II. 香… III. 科学技术-动态-世界-文集 IV. N1-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第015821号

责任编辑:杨震 张淑晓/责任校对:赵燕珍

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年2月第一版 开本:A5(890×1240)

2009年2月第一次印刷 印张:7

印数:1—2 500 字数:200 000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

序 一

现代科学正在突飞猛进地发展，不断扩展人类的视野，增长人类的知识，促进社会繁荣，推动经济发展，备受世人关注。

现在，科学技术正处于重大突破的前夕。新发现、新思想、新概念、新方法的不断涌现，新学科和新方向的不断产生，学科的交叉、渗透和综合趋势的日益增强，复杂性（复杂系统）和整体性研究的崛起，构成当代科学发展蔚为壮观的景象。这不仅对科学的许多原有概念提出了挑战，而且深刻影响到经济和社会生活的各个方面，包括人们的思维方式、生产方式、工作方式和生活方式。

“科学是无止境的前沿”。在科学自身的伟大创造力和经济社会不断出现的巨大需求的推动下，科学不断地推进自己的前沿和扩展研究的领域。现在，这一过程日益加速。学科前沿的错综交叉、变化多端、绚丽多彩、日新月异，令人振奋。

探讨科学前沿，了解其变化和走向，展望未来，对于促进科学发展、促进科技创新，具有战略性的意义。这种预测、研讨活动，本身就是科研工作的重要组成部分。

探明科学前沿、预测科学未来、认清萌生的生长点和蕴藏的新苗头，是非常困难的，需要雄厚的、长期系统的积累，需要扎实地、坚持不懈地努力研究。出版《科学前沿与未来》系列专

著,无疑给科技界提供了交流和讨论的机会,并将吸引大家把注意力和兴趣投向最主要、最有希望、发展最快的前沿,主要是交叉前沿,激励大家的研究兴趣,并长期坚持下去。这将使我们的科研工作永远处于科学的最前沿,从而充满活力,富有创造性。

《科学前沿与未来》系列专著,以香山科学会议的综述报告和重点发言为基本内容,并欢迎在科学前沿研究工作的科学家投稿。我们希望科技界和全社会,都关心、爱护、支持这个系列专著,齐心协力,把它长期办下去,为科技发展、科技创新、培育人才作出贡献。

周光召

序 二

当今世界，科学技术的突飞猛进改变了人类社会的各个方面。科学技术走出实验室已作为一个国家综合国力的代名词。

蓬勃兴起的新科技革命，为我国的改革开放和经济发展提供了契机。在这难得的历史机遇面前，中国科技界任重道远，一方面要花大力气通过先进的科学技术，改造传统产业，发展新兴产业，不断提高科技进步在经济增长和社会发展中的作用，促进整个国民经济持续、快速、健康的发展；另一方面要稳定一批优秀队伍，在基础科学、高科技的前沿等方面作出世界一流的工作，要做到这一点，提供一个宽松的、自由阐述新思想、新概念、新发展的环境是很需要的。正是基于这种考虑，在1992年7月召开的“展望21世纪初的中国自然科学”座谈会上，产生了举办“香山科学会议”的想法。两年多来，在国家科委和中国科学院有关同志的努力下，会议办起来了，迄今已举办了20多次，在科技界产生了很好的影响。最近江泽民主席也对香山科学会议表示关注。这无疑是对我们工作的极大鼓励和鞭策。

《科学前沿与未来》是香山科学会议的评述报告和重要发言的汇编，集各家之言，洋洋洒洒，把这些宏论良策发表出来是希望能引起社会各界，尤其是广大科技工作者的争论和共鸣，从而对当今前沿重大科学问题加深认识乃至对我国科研工作的今后布

局产生影响,也希望由此能传播香山科学会议精神,在我国科技界倡导和培育自由、宽松、民主的学术风尚,引导和激励广大科技工作者特别是青年一代勇攀世界科技高峰,为我国的科学研究、技术创新和世界科技进步作出更大的贡献。

鄭正

1995年1月6日

目 录

序一

序二

控制 CO ₂ 排放的若干科学问题	徐建中	1
温室气体在石油开采中资源化利用的科学问题		
..... 沈平平 廖新维 杨永智		17
聚烯烃技术发展与中国的机会	韩志超 董 侠	27
多铁性氧化物与磁电耦合	刘俊明	34
环境纳米科技研究的新动向和机会	张立德	43
人造纳米材料的生物效应及安全性毒理学研究		
..... 唐 萌 浦跃朴 赵宇亮		58
细胞内实时检测的意义	林其谁	73
队列研究与医学发展	程 琦 姜国鑫 沈晓明	81
本草物质组	梁鑫淼 张秀莉 郭志谋	
丰加涛 薛兴亚 金 郁 柯燕雄 叶金星 章飞芳		92
本草物质组与中医药理论传承探讨	吴春福	101
成体干细胞: 问题与前景	裴雪涛	109
西太平洋海洋环流与气候研究的机遇与挑战	胡敦欣	118
实用原子钟的发展与前瞻	王义道	129
生命复杂系统与计算生物学	吴家睿	144
地理科学中的复杂性数学方法探索	马蔼乃	150
钱学森现代科学技术体系思想的产生、发展与科学意义		
..... 黄顺基		157
和谐社会的建立需要完善心理健康服务体系	钱铭怡	197
香山科学会议 2007 年学术讨论会一览表		209
香山科学会议 2008 年学术讨论会一览表		211

控制 CO₂ 排放的若干科学问题^[1~9]

徐建中

摘 要: 工业革命后, 人类活动造成的大气中温室气体特别是 CO₂ 的浓度迅速增加, 温室效应对全球尤其是我国生态环境具有巨大影响; 我国作为负责任的大国, 应努力开展控制 CO₂ 排放的相关研究。本文分析了 CO₂ 减排的主要途径及国内外研究现状, 提出了应该重点解决的若干科学问题; 指出 CO₂ 控制问题是能源、环境、化工、战略与政策等领域的交叉, 庞大而复杂, 需要各个领域的研究人员共同努力, 同时开展广泛的国际合作, 逐步建立适合中国国情的 CO₂ 减排技术路线。

关键词: CO₂ 全球气候变化 控制排放

1 气候变化的严重后果及我国所面临的 CO₂ 减排压力

随着人类社会的进步, 人类对能源的需求越来越大, 工业生产和人类生活过程中产生的温室气体排放量日益增加, 由此导致的空气污染和温室效应正在严重地威胁着人类赖以生存的环境。人类向大气排放的温室气体主要有 CO₂、甲烷、氮氧化物和其他一些气体。有关研究表明, 大约 60% 的温室效应是由 CO₂ 产生的, 甲烷、氮氧化物和其他温室气体对温室效应的影响率依次为 20%、6% 和 14%。可见, 控制 CO₂ 向大气中排放是当前减缓气候变化所要解决的主要问题。CO₂ 来源于人类对化石能源 (煤、

天然气和石油)的过度开发与利用,特别是工业革命以后人类越来越依赖于化石能源。1971~2001年,世界能源消耗由 2×10^{20} J/a 提高到 3.6×10^{20} J/a,随着能源消耗量的增加,CO₂排放量相应地由 1.4×10^4 t/a 提高到 2.4×10^4 t/a,相对增加了 71.4%。对南极和格陵兰大陆冰盖中密封的气泡中 CO₂ 浓度的测定结果显示:长期以来大气中 CO₂ 含量一直比较稳定,大体是 280ppm^① 左右;工业革命以后开始稳定上升,到 1959 年,大气中 CO₂ 浓度增加到 316ppm;值得注意的是,从 1959 年以后的短短 34 年间,大气中的 CO₂ 浓度增加到 357ppm,又增加了 13%。可见,大气中 CO₂ 浓度正在迅速提高。

由于大气中温室气体浓度的增大,全球表面平均温度在 20 世纪增加了 $(0.6 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ 。由于全球变暖造成全球范围内的冰川融化、海平面上升,气候异常和传染病流行加剧。我国也受到气候变暖的严重危害:未来植被类型分布可能发生明显变化,草原和荒漠将向我国西部和高海拔地区扩展,同时牧区产草量下降;海平面上升,使河口湾生态系统和海洋生物资源受到严重影响,将对我国的海岸经济带来严重冲击;我国是一个农业大国,气候变化对我国农业影响巨大,粮食产量波动增大,农业布局 and 结构改变,成本投资增加。

目前,我国 CO₂ 排放量居世界第二位,甲烷和氧化亚氮等排放量也居世界前列。1990~2001 年,我国 CO₂ 排放量净增 8.23 亿 t,占世界同期增量的 27%;预计 2020 年排放量比 2000 年还要增加 1.32 倍,此增量大于全世界在 1990~2001 年的总排放增量。预测显示,不远的将来,我国 CO₂ 排放总量很可能超过美国,居世界第一位;那时人均排放量将达到世界平均水平,丧失人均二氧化碳排放水平低的优势。无论是对人类肩负的责任,还是我国长期可持续、和谐发展,都迫切要求我们重视和解决 CO₂ 排放问题。2002 年,我国作为一个负责任的发展中国家郑重承

^① $\mu\text{g/g}$ 。

诺核准《京都议定书》。虽然目前我国没有 CO₂ 减排的义务,随着 2012 年“后京都时代”的到来,我国必然成为全球履约中的焦点,所承受的国际压力越来越大,我国在当前关键时刻深入展开 CO₂ 减排方面的研究势在必行。其核心是减少 CO₂ 等温室气体的排放。

2 国际 CO₂ 问题研究现状

全球气候变暖已经引起了世界各国的广泛重视,众多研究组织、政府机构和企业纷纷展开相应的研究工作。IPCC 是目前世界上权威的全球气候变化研究组织,曾多次发表评估研究报告、方法报告、技术报告和特别报告等,影响深远,我国学者也积极参与了 IPCC 的研究及报告撰写工作。随着研究的深入,CO₂ 捕获和埋存(CCS)作为一种具有应用前景的 CO₂ 减排技术路线受到广泛重视,IPCC 成立了第三工作组,专门负责 CO₂ 减排对策研究,2005 年发表了 CO₂ 捕获与埋存的特殊报告,提出了多种 CO₂ 捕获技术路线和 CO₂ 埋存的技术路线。CO₂ 的捕获和埋存已经成为 CO₂ 减排研究的热点领域。

IEA 是一个国际性合作组织,主要进行与能源相关的研究。1991 年成立了 IEA GHG 项目,致力于全球温室气体减排,主要目的是对温室气体减排的各项技术进行评估,促进温室气体减排方面的研究、开发和示范。IEA GHG 每两年举办一次国际温室气体会议,各国研究人员交流研究成果,促进了 CO₂ 减排的研究。

尽管美国没有签署《京都议定书》,但是,美国仍然非常关注 CO₂ 问题。美国能源部(DOE)积极展开 CO₂ 减排方面的研究工作,尤其是对不同 CO₂ 减排方法的研究,还与工业企业联合资助了一批与 CO₂ 减排相关的项目,最终目标是开发出能将 CO₂ 减排成本降低到每吨 10 美元或更低的减排方法。同时,美国提出了 FutureGen 计划,开发以煤为基础的、具有商业竞争力的

生产电力和氢气的系统;开发大规模 CO_2 分离技术,生产氢气和电力等清洁能源的同时,分离回收并封存 CO_2 。这一计划为高新技术的研发和商业化提供了一个大型的平台。

欧盟签署了《京都议定书》,为了确保处在全球气候变化研究的前沿,欧盟启动了一系列的有关项目。最近的一些数据表明欧盟正在努力履行在 UN Framework Convention 下的气候改变义务(温室气体排放量降低到 1990 年的水平)。欧盟第六框架计划支持一个广阔的多课题的研究领域,它主要解决公众需求并提供政策支持。欧盟第六框架中包含以能源、地面交通和全球气候变化与生态系统为研究方向的可持续发展研究领域。

加拿大和挪威在 CO_2 减排方面的研究也比较活跃。加拿大主要进行利用 CO_2 开采深层不可采煤层中煤层气的研究和 CO_2 驱油的研究、现场试验和商业化运作。加拿大与我国在开发煤层气方面进行了合作,并在山西进行了实地试验。挪威资助了一个名为 KLIMATEK 的减少温室气体排放的五年项目,应用 KLIMATEK 技术,可以实现减排几百万吨 CO_2 的目标。

3 我国能源利用现状及 CO_2 减排的难点

3.1 我国能源利用现状

我国能源结构以煤为主,天然气和石油相对匮乏,煤炭是我国的主要能源来源,2003 年煤炭占我国能源总消耗量的 67% 左右。自 1988 年以来,我国煤炭的产量和消费量在世界上一直居首位,约占世界总量的 30%。不同燃料的 CO_2 排放特性不同,单位能量的煤燃烧所释放的 CO_2 量是天然气的 2 倍左右,在满足相同能源需求时,我国排放的 CO_2 量远高于世界平均水平。

我国约有 50% 的煤炭消费用于发电,目前我国火力发电厂平均热效率仅为 33% 左右,与国际先进水平存在较大的差距。主要原因是:机组构成中,20 万 kW 以上的大容量、高参数机组偏少,不到 40%;2.5 万 kW 以下中温中压、小火电机组占

1/4, 而且国产 20 万 kW 机组的热效率又比国外同类型的低。虽然我国燃气轮机联合循环发电设备国产化进展迅速, 三年来完成两次“打捆招标”, 进口了几十套以油或天然气为燃料的联合循环电站; 但是预计到 2030 年, 天然气发电在我国电力行业仅居第三位, 仍然不能改变以燃煤电厂为主的现状。

2004 年, 我国万元产值耗电量为 1746kW·h, 为发达国家的 3~5 倍, 说明我国终端用电效率与国际先进水平相比也存在较大的差距。国内冶金、建材和化工等高耗能行业的单位产品电耗比国外平均高出~40%。造成这一差距的原因是在生产规模、工艺路线、技术装备、管理运行等方面存在着差异。

我国以煤为主的能源结构, 大幅度增加了我国减少 CO₂ 排放的难度, 同时, 燃煤发电和终端用电效率低, 使我国控制 CO₂ 排放的难度进一步加大了。

3.2 CO₂ 减排的难点

CO₂ 是伴随人类对化石能源的利用过程产生的, 人类社会的生存与发展离不开能源的供应, 随着人类对化石能源的依赖越来越大, CO₂ 减排成为人类必须解决的、不可避免的重大问题。CO₂ 排放源分布广泛, 涉及工业、交通、建筑、农业和管理等各个领域, 因此, 要想彻底解决 CO₂ 带来的温室效应问题, 就必须在各个能源转换与利用领域开展工作, 必须依靠各个国家的共同努力。另外, 需要处理的 CO₂ 量巨大, IEA 统计表明 2003 年全球 CO₂ 的排放总量约为 237 亿 t, 对如此大量的 CO₂ 的处理(捕获和埋存等)非常困难。

由于各 CO₂ 排放源不同, 很难用单一的方法分离回收。例如, 汽车尾气和居民生活排放的 CO₂ 就很难统一处理, 而一些工业部门排放的 CO₂ 则可以统一处理。传统分离和回收 CO₂ 的技术主要有吸收法、吸附法、膜分离法和深冷法等。吸收法是用化学溶剂将 CO₂ 从待分离气体中分离出来, 然后再将化学溶剂和 CO₂ 进行分离, 该分离过程耗费大量的额外能量。吸附技术通常限于

小规模操作,因为吸附剂的容量有限,吸附大量 CO_2 所需的吸附剂的量过大,分离设备庞大。通常吸附方法也包含一个解吸过程,依靠压力或温度的改变将 CO_2 与吸附剂分离,压力变化或温度变化不可避免地带来大量的能量损失。膜分离的难点在于膜材料的限制。多数膜分离过程都在低温高压下进行,而气体压缩过程也消耗大量的功,而且膜分离的选择性导致膜成本较高,致使该方法目前不能大规模使用。由于 CO_2 的三相点是一 56.5°C ,用深冷分离方法需要较低温度的冷能,冷能的制备也要消耗大量的功,但是,当气体处于压缩状态时,采用深冷技术可以减少能耗。总之,不论采用哪种 CO_2 分离方法,分离过程的能耗都很高,这不仅意味着额外增加了单位发电量或产品的 CO_2 排放量,而且大幅度降低了能源系统效率。

由传统方法分离的 CO_2 (深冷分离方法除外) 通常处于低压状态,为了便于 CO_2 的输运,需要将 CO_2 液化。目前 CO_2 的液化主要采用压缩冷却的方法,通过 CO_2 压缩机压缩到 $8\sim 15\text{MPa}$, CO_2 压缩耗功大约占分离过程耗功的 50% 。 CO_2 液化过程耗功过大是 CO_2 减排的另外一个难点。

CO_2 被分离后,需要存储起来,才能达到与大气隔离的目的。由于 CO_2 量巨大,每年达百亿 t,如此大量的 CO_2 安全存储,也是 CO_2 减排的难点之一。目前 CO_2 埋存的主要方案是地质埋存和海洋埋存。地质埋存将 CO_2 存储在废弃的油井、地下咸水层和不可采的煤层中;海洋埋存将 CO_2 直接注入深海 (1000m 以上)。目前地质埋存已有一些工业规模的项目正在进行,而海洋埋存仍然处于研究阶段。

4 适合我国的 CO_2 减排途径

4.1 固定 CO_2 的主要方法

植物通过光合作用将大气中的 CO_2 转化为碳水化合物,并以

有机碳的形式固定在植物体内和土壤中。因此,人类排放到大气中的 CO₂ 可以通过生物方法固定下来,减少大气中 CO₂ 浓度。生物固碳就是利用植物的光合作用,提高生态系统的碳吸收能力,从而减少其在大气中的浓度,减缓全球变暖趋势。生物固碳包括可通过土地利用变化、造林及加强土壤碳吸收等农业措施,增加植物和土壤的固碳能力。植物固碳是固定大气中 CO₂ 的成本最低且副作用最少的方法,受到各界的特别关注。充分利用植物的固碳潜力,通过造林和植草等工程项目来提高我国陆地生态系统的碳吸收能力,对于我国环境保护与履行国际公约将起到十分重要的作用。

对于集中固定排放源排出的 CO₂ 可以采取物理固碳的方法,通常物理固碳包含 CO₂ 的捕获、运输和埋存过程。动力和工业领域排放的 CO₂ 常常混合在其他气体中,CO₂ 浓度随能量利用过程的不同而变化。例如,燃煤电厂排烟中 CO₂ 浓度为 12%~15%,联合循环排烟中 CO₂ 浓度为 3%~5%,炼钢排烟中 CO₂ 浓度为 20%左右。CO₂ 捕获就是将较低浓度的 CO₂ 气体从动力或工业排烟中分离出来,得到纯净的 CO₂,为下一步的输运和埋存打下基础。捕获的 CO₂ 通过管道或地面运输送到 CO₂ 的存储地,长期埋存起来。目前可用于 CO₂ 埋存的空间包括:地下油气藏的空间,深部咸水层,不可采的煤层以及深海。物理固碳是有前景的大规模减少 CO₂ 排放的方法。

对于分散移动的排放源不能采用物理隔离的方法,主要原因是分散的用能过程规模较小,排放的 CO₂ 较少,由于 CO₂ 化学性质稳定,难以实现小规模高效分离和存储。这部分 CO₂ 可以用清洁能源替代现有能源的方法减排。对常规的化石燃料可进行处理,生产不含碳的清洁燃料(氢气)的同时分离 CO₂,然后再将清洁燃料(氢气)分散的用能过程。

4.2 适合我国国情的 CO₂ 减排途径

针对我国能源利用现状,目前减少 CO₂ 排放有多种途径,包

括:提高能源转化与利用效率,降低化石能源的消耗;改变能源消耗结构;提高可再生能源和核能在能量供应中的份额;增强生物固碳;进行 CO_2 捕获与存储;进行 CO_2 资源化利用。

各种途径简述如下。

(1) 提高能源转化与利用效率,可在满足人类社会能量需求的同时,降低化石能源的消耗,从而减少由于化石燃料消耗带来的 CO_2 排放量。针对我国能源转化与利用效率低下的现实,提高我国能源利用水平(特别是煤炭的能源利用效率)以达到国际先进水平,应该是实现我国减少 CO_2 排放的近期的主要途径之一,具有非常大的潜力和可行性。从中长期来看,还要继续研究先进的能源转化与利用装置和系统,进一步提高系统的能源转化效率。

(2) 改变能源消耗结构主要是指用天然气和石油等相对低碳燃料替代高碳燃料——煤。单位能量的化石燃料中煤的含碳量最高,石油次之,天然气最少,用含碳量较少的天然气和石油替代煤,可以减少 CO_2 的排放。另外,以天然气和石油为燃料的系统的能源利用效率远高于以煤为燃料的系统。例如,以天然气为燃料的联合循环的发电效率目前可达 55%~60%,而燃煤电厂发电效率仅为 35%~45%,因此,当能量需求不变时化石燃料的消耗量减少。但是,该途径仅适合于天然气和石油资源较为丰富的地区(如欧洲);我国天然气和石油资源匮乏,虽然我国也在加大应用天然气的力度,积极从海外市场引入天然气和石油,但用天然气和石油替代煤炭对于我国来说几乎不可能。因此,靠改变能源消耗结构不能根本解决我国的 CO_2 减排问题。

(3) 提高可再生能源和核能在能源供应中的份额,也可以减少化石能源的消耗量,因为可再生能源属于低碳或非碳能源,能有效减少 CO_2 的排放量。可再生能源包括风能、太阳能、水能、生物质能、地热能和海洋能等。我国地域广阔,具备发展风电条件,东南沿海及其附近岛屿是风能资源丰富地区,三北地区也是中国风能资源丰富地区。全国陆地可利用风能资源 3 亿 kW,加

上近岸海域可利用风能资源, 共计约 10 亿 kW; 2005 年全国风电装机容量超过 100 万 kW, 未来的规划是: 2010 年为 500 万 kW, 2015 年为 1000 万 kW, 2020 年达到 3000 万 kW。研究表明, 容量为 1000kW 的风力发电机组与火电机组相比, 每年可减排 2000t 二氧化碳、10t 二氧化硫和 6t 二氧化氮。我国太阳能资源也非常丰富, 我国三分之二以上地区年日照时数都大于 2000h, 太阳能一年的理论储量高达 17 000 亿 t 标准煤。目前我国在西藏等西部地区发展了 600kW 的光伏电站, 在光照条件较好的地区推广家用光伏电源的总功率约为 2.9MW; 光热利用部分局限于太阳能热水器, 目前我国太阳能热水器总面积为 6500 万 m², 居世界第一位; 但是光热发电领域仍然处于空白, 有很大发展潜力。水能资源是我国重要的可再生资源, 根据 2003 年全国水力资源复查成果, 全国水能资源技术可开发装机容量为 5.4 亿 kW, 年发电量 2.47×10^{12} kW · h; 经济可开发装机容量为 4 亿 kW, 年发电量 1.75×10^{12} kW · h; 我国水能资源主要分布在西部地区, 约 70% 在西南地区; 到 2005 年底, 全国水电总装机容量达 1.17 亿 kW。可再生能源虽然资源丰富、清洁、利用过程没有 CO₂ 产生, 但是可再生能源能量密度比较小, 因此, 可再生能源的利用装置体积庞大, 占地面积大, 投资成本高。另外, 可再生能源一般是不连续的, 而人类对能源的需求又相对稳定, 目前还没有很好的解决方法, 也限制了可再生能源的发展。

我国核能能源系统效率还处在较低水平, 同时还受到安全性、成本和核废料长期埋存等问题的困扰。因此, 在中短期内, 核能还不能替代化石能源。

(4) 植被可以吸收空气中的 CO₂, 并将它固定在植物体内和土壤中, 例如每公顷丰产速生林可以固定 56t CO₂。因此, 可以通过增加丰产速生林的面积降低大气中 CO₂ 的含量, 缓解温室效应。目前, 全国森林年固碳量为 0.60 亿~1.26 亿 t, 草地和水土流失治理活动的年碳吸收量分别为 0.12 亿 t 和 0.03 亿 t, 农作物年固碳量(净初级生产力)为 5.2 亿~6.5 亿 t, 近海年吸