

TONGXIANG KECHIXU WEILAI
DE ZHENGCE

能源

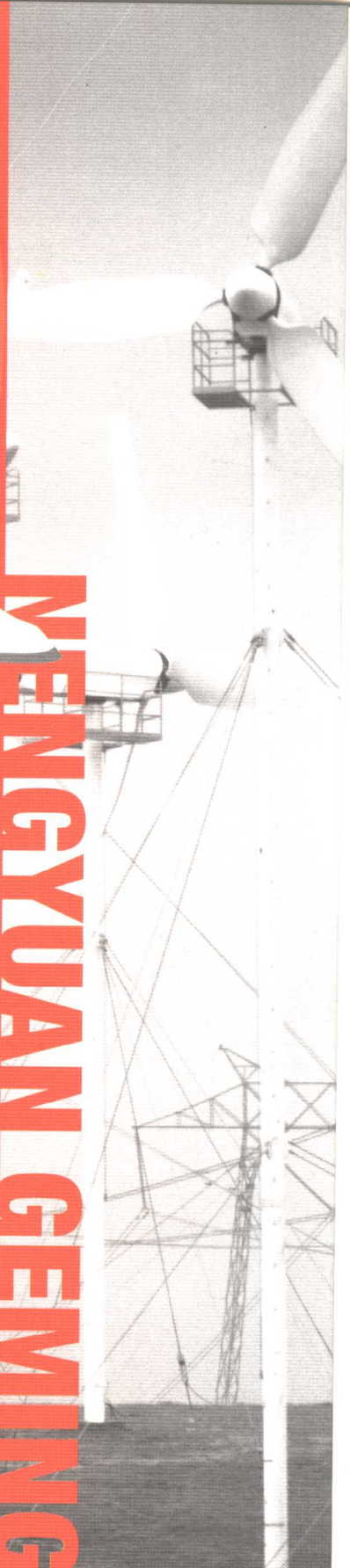
通向可持续未来的政策

[美] 霍华德·格尔勒

革命

ENERGYUAN GEMING

中国环境科学出版社



能 源 革 命

——通向可持续未来的政策

〔美〕霍华德·格尔勒 著
刘显法 代存峰 吴施勤 译

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

能源革命:通向可持续未来的政策 / (美)霍华德格尔勒著;刘显法等译. —北京:
中国环境科学出版社, 2006.3

ISBN 7-80209-275-2

I. 能... II. ①格...②刘... III. 能源政策—研究—世界 IV. F416.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 016026 号

北京市版权局著作合同登记号

图字:01-2006-3474

Copyright©2003 Howard Geller

Published by arrangement with Island Press

Translation copyright©2006 by China Environmental Science Press, Beijing

责任编辑 高 峰

责任校对 扣志红

封面设计 兆远书装

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>
联系电话:010-67112765 (总编室)
发行热线:010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2006 年4 月第一版
印 次 2006 年4 月第1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 12.25
字 数 230 千字
定 价 34.00 元

【版权所有。未经许可,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

序

能源是社会发展的保障,经济腾飞的动力。随着近年来全球经济的不断发展,能源的重要性越来越多地显示出来,而围绕能源生产与消费引发的诸多问题也成为各方关注的焦点,石油危机、温室效应、不断恶化的生态环境一次次地向人们敲响警钟。经济的发展不能以牺牲环境为代价,而转变旧的能源生产与消费模式,打破以往单一以化石能源为主的能源利用格局成为未来能源发展的大势所趋。为此,世界各国都在努力探索新的能源消费模式,寻求多元化的能源供应策略,促进核电、水电、太阳能、风能等替代能源的发展,一场新的能源革命悠然产生。

由知名能源专家霍华德·格尔勒先生撰写的《能源革命》一书中文版的发行,无疑是一件值得祝贺的事。该书将会为我国众多能源工作者和企业家提供系统全面了解国内外能源领域技术政策现状的机会;也可帮助高层决策者全面把握国际能源形势及各国相关能源政策,为制定符合我国实际的能源规划提供有力参考;对于一般的读者来说,这也不失为一本用于丰富其可持续能源知识的资料性读物。

该书由刘显法、代存峰、吴施勤翻译,朱霖、朱翠平等参加了部分章节的翻译,李春梅负责校对,张建民对全书进行了总审。美国能源基金会中国可持续能源项目为本书的出版提供了赞助。对他们为此书做出的贡献在此表示深深地谢意。

期望《能源革命》中文版的出版发行能有助于我国可持续能源前景的建设,并期待更多优秀的能源专著与读者见面。

国家发展和改革委员会能源研究所副所长 戴彦德

2006年2月18日

能源单位和术语

为方便阅读理解,本书采用符合不同国家或地区使用习惯的能源单位,如对美国,是(quads) 10^{15} 英热单位;对中国,是兆吨标准煤;对巴西,则是兆吨标准油。

能源单位

世界各国使用不同的能源单位,表示燃料、电力的能源含量。本书所用能源单位及其换算关系如下:

$$1 \text{ 夸特(quads)} = 10^{15} \text{ Btu} = 1.055 \text{ EJ} (1.055 \times 10^{15} \text{ J})$$

$$1 \text{ 吨标油(toe)} = 41.9 \text{ GJ} = 3970 \text{ 万 Btu(英热单位)}$$

$$1 \text{ 桶油(bbl)} = 6.1 \text{ GJ} = 580 \text{ 万 Btu}$$

$$1 \text{ 吨标煤(tce)} = 29.3 \text{ GJ} = 2780 \text{ 万 Btu}$$

$$1 \text{ 千瓦时(kWh)} = 3.6 \text{ MJ} = 3412 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ 瓦特(W)} = 1 \text{ J/s} = 3.412 \text{ Btu/h}$$

为正确理解这些能源单位,下面列出了一些典型的能耗水平:

- 一个典型的美国家庭每年消耗能源约 1.8 亿 Btu(190 GJ)(此数据包括电力生产和传输过程中的能源损失)。
- 一辆典型的美国汽车或轻型卡车每年消耗汽油约 600 加仑,相当于 7500 万 Btu(79 GJ)。
- 一个典型的发展中国家农村家庭每年消耗传统燃料(木材、农作物剩余物、动物排泄物)约 3800 万英国热量单位(40 GJ)。
- 一个每天使用 4 h 的 60 W 灯泡,每年耗电 88 kWh。
- 在美国一台典型的在用冰箱,每年耗电 900 kWh。

本书使用的“一次能源”这一术语,包括燃料或电力在生产和传输过程中的损失。

此外,本书使用的单位词头如下:

$$\text{千(k)} \quad 10^3$$

$$\text{兆(M)} \quad 10^6$$

$$\text{吉[咖](G)} \quad 10^9$$

$$\text{太[拉](T)} \quad 10^{12}$$

$$\text{拍[它](P)} \quad 10^{15}$$

$$\text{艾[可萨](E)} \quad 10^{18}$$

前言

本书的撰写始于1998年。当时能源价格较低,能源问题并不突出。美国和其他主要工业化国家经济增长强劲,亚洲国家的决策者正在全力应对经济危机。但是,有一个问题却引起了全世界的关注,这就是全球变暖。由于全球范围内导致气候变暖的温室气体排放不断增长,世界各国共同制定了《京都议定书》,以限制温室气体排放。但是当时人们既不清楚《京都议定书》设定的减排目标能否达到,也不清楚借以完成进而超过减排目标的途径究竟是什么。

1998年以来发生的很多事件使能源问题凸现出来:石油价格不断上涨、美国加利福尼亚及邻近各州遭受电价冲击和电力短缺、安然公司倒闭损害了金融市场。因此,布什总统、美国国会、各种利益集团一直在讨论相关能源立法问题,而基地组织发动的恐怖袭击在提醒我们:美国高度依赖能源进口,美国在石油供应中断和石油价格冲击面前是脆弱的,恐怖分子可能会对关键的能源基础设施发动袭击。

本书的出版恰逢一个重要关头。人类活动引发的全球气候变暖越来越明显,很多国家、地区和企业减少温室气体排放方面取得了重要进展,风力发电机、太阳能光伏系统、紧凑型荧光灯等清洁能源技术的市场急速发展。与此同时,希望维持现状——即继续依赖煤炭、石油等化石燃料的强势依然存在,而这将会增加温室气体排放,加剧全球气候变暖。世界将何去何从?

很多研究者都认为,一场清洁能源革命,即以清洁能源替代化石燃料并不断提高能源效率,既合乎需要,又可行。但这些研究大都致力于实现这场革命所需的各种技术,而不是政策和战略。我认为,能源革命面临的真正挑战不是技术,因为大多数清洁能源技术或者已经商业化,或者已经在市场上出现,而更大的挑战是,如何在今后几十年克服障碍,使这些技术得到广泛应用,如何实现清洁能源革命。

本书试图弥补这一缺陷。过去20年来,人们在有关提高能源效率、发展可再生能源技术的政策方面,已经积累了大量的丰富经验,从而使我们可以展望如何在21世纪完成这场清洁能源革命。本书全面回顾了在制定和实施提高能源效率、发展可再生能源政策方面的经验教训,对如何推动清洁能源革命提出了可行的政策建议。

本书试图从多个角度,对清洁能源问题进行整体性分析。首先,本书涵盖了工业化国家与发展中国家的能源政策经验和路径选择。实际上,因为能源政策制定的经验教训分别来自高收入、中等收入和贫穷国家,我选取的资料在地理上覆盖

了全球。其次,本书既分析了“趋势照常情景”下的能源未来对经济、社会 and 环境的威胁,又分析了清洁能源革命对经济、社会 and 环境的益处。既考虑全球气候变暖,又考虑地区和当地的空气污染、供应安全、第三世界的贫困,以及全球公平等问题。第三,本书既研究能源效率政策,又研究可再生能源发展政策,因为二者对于实现清洁能源革命都很关键。

我希望,这本书能够引起政策制定者、企业领导、环境工作者、学生等读者的广泛兴趣,同时也希望吸引许多国家的读者,而不仅仅是美国。因为推动能源走向可持续的未来是一件大事,关乎全球所有人的利益,更需要世界各国精诚合作。最后,由于本书内容涉猎广泛,我列出了大量参考资料,以便那些需要详细政策信息的人们查阅。

霍华德·格尔勒

译者 刘显法
代存峰
吴施勤

ENERGY REVOLUTION
POLICIES FOR A SUSTAINABLE FUTURE



目 录

前 言

第一章 简介 (1)

第一节 能源发展趋势及其影响 (3)

第二节 通往可持续未来的能源革命 (12)

第三节 经济和社会环境 (21)

结 论 (22)

第二章 提高能效和使用可再生能源技术的障碍 (24)

第一节 提高能效的障碍 (25)

第二节 可再生能源应用的障碍 (31)

结 论 (34)

第三章 克服障碍的政策 (35)

第一节 研发及示范 (37)

第二节 融 资 (40)

第三节 财务激励 (42)

第四节 定 价 (47)

第五节 自愿协议 (50)

第六节 法 规 (52)

第七节 信息传播和培训 (55)

第八节 采 购 (58)

第九节 市场改革 (61)

第十节 市场义务 (63)

第十一节 能力建设 (67)

第十二节 规划技巧 (69)

结 论 (71)

第四章 市场改革案例 (75)

案例一 国家能效项目(中国) (76)

案例二 电器和车辆效率的提高(美国) (78)

案例三 电力有效利用(巴西) (81)

案例四 工业能效的提高(荷兰)	(84)
案例五 烹调用炉配置的提高(中国)	(86)
案例六 加利福尼亚的高效用电(美国)	(88)
案例七 可再生能源的利用(印度)	(90)
案例八 乙醇燃料(巴西)	(93)
案例九 风能的利用(丹麦)	(97)
案例十 由煤电到气电的转化(英国)	(98)
结 论	(101)
第五章 美国的政策和规划	(102)
第一节 一如既往的商业	(106)
第二节 可持续能源的前景	(108)
第三节 能源、经济以及环境的影响	(117)
结 论	(126)
第六章 巴西的政策和规划	(129)
第一节 主要的能源政策目标	(132)
第二节 政策建议	(134)
第三节 能源和其他影响	(142)
结 论	(145)
第七章 国际政策和机构	(147)
第一节 国际清洁能源合作	(148)
第二节 发展中国家的清洁能源创新	(151)
第三节 双边支持	(154)
第四节 多国发展银行	(157)
第五节 气候条约	(158)
第六节 加强国际技术和政策合作	(163)
第八章 走向能源可持续发展的明天	(166)
第一节 政策、教训和经验	(167)
第二节 目前发展情况	(170)
第三节 前 景	(173)
第四节 全球清洁能源发展状况	(175)
第五节 交通提出的挑战	(181)
第六节 人口增长和生活方式的选择	(184)
结 论	(185)
附 件 全球清洁能源情景中的主要假设	(188)

第一章 简介

能源影响着人们生活的任何方面。我们需要能源为家庭供暖、制冷和照明,也使用能源烹制和冷冻食物;能源为汽车、卡车和其他交通工具提供燃料,也为工业、农场、办公室和其他办公场所提供动力。在美国和其他工业化国家,几乎所有能源都来自化石燃料(石油、煤炭、天然气)和电。

化石燃料和电是丰富、廉价、易得的能源,如果不考虑税,1升汽油的花费与1升瓶装水差不多。我们只需轻轻按一下开关,电器和电灯就会打开,而我们却很少考虑电是如何产生的,发电会带来什么后果。同样,我们给油箱加油时,也很少思考石油从何而来,以及大量使用化石燃料的后果。

能源还以间接的方式介入我们的生活。大型石油公司等能源生产商已跻身世界上最大、盈利最多的公司,他们的行为深刻地影响着政府甚至世界经济,安然的轰然坍塌即为明证。世界范围内的能源配置和各国对能源的索取,影响着国与国之间的关系,正如海湾地区周期性的石油冲突,以及石油输出国组织(OPEC)与石油进口国之间的争斗所展现的那样(Yergin 1991)。

本书的第一个主题是,目前的能源资源和消费方式不可持续。持续地消耗更多的化石燃料,将严重破坏环境,导致前所未有的气候变化,加速耗尽石油资源。目前这种能源供求趋势还将加剧各国之间的不平等和紧张关系,从而诱发地区冲突,并让人们联想到世贸中心和美国五角大楼所遭受的袭击。总之,如果继续按照原有的方式使用能源,将危及我们子孙后代的幸福生活。

本书的第二个主题是,能源革命既可行,又合乎需要。通过大幅度提高能源效率,更多地使用太阳能、风能、生物能等可再生能源现行能源消费方式导致的所有问题都可以缓解。但是,一系列难以克服的障碍,限制了世界上大多数国家能源效率提高的速度,限制了能源系统向可再生能源的转换。

本书的第三个也是最重要的主题是,富有远见的公共政策可以克服上述障碍。提高能效和扩大可再生能源利用的经验不断增加,为今后的发展提供了许多成功的范例和教训。实施行之有效的政策,增加全球合作,将加快能源革命步伐,创造可持续的能源未来。

在考虑未来的能源政策和情景之前,有必要回顾一下前两个世纪全球能源使用情况。1850年至今,世界能源消费量增长了20倍,1900年至今增长了10倍,1950年至今增长了4倍多(图1-1)。显著增长的能源利用加快了经济增长速度并提高了人们的生活水平。过去100年,能源使用量的增长绝大部分是在工业化国

家,其占世界人口的 20%。

过去 150 年来,能源的资源 and 利用状况发生了很大的变化。19 世纪消耗的能源绝大部分是生物质,如薪柴、木炭和农业残余物等,即所谓的“传统能源”。19 世纪后半叶,煤炭生产迅速扩大,从 1890 年开始,煤炭成为世界主要能源,这种状况持续了 75 年。使用煤炭作为蒸汽机和发电的燃料,改变了发达国家的工业生产和人民生活。第二次世界大战后,石油生产急速扩大,过去的 35~40 年里成为主要能源。使用石油的小汽车、公共汽车、卡车、飞机及其他交通工具改变了人们的交通方式。此外,过去 30 年来,天然气和核能也快速增长。由此可见,全球已经历了能源系统的转换。能源系统转换与经济、社会转型同时进行,并且为经济和社会转型提供了动力。

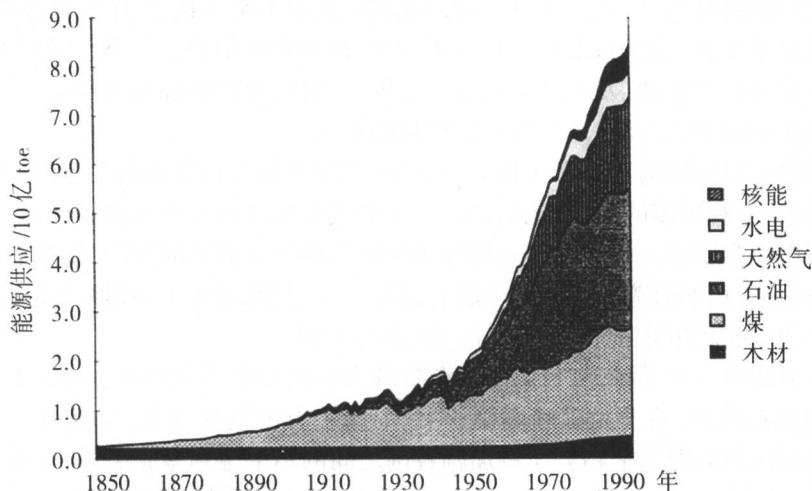


图 1-1 1850 年以来的世界能源供应

资料来源:GRUBLER 1998

目前化石燃料占全球能源供应的 80%。其中石油所占比例最大,为 35%,煤占 23%,天然气占 21%。可再生能源占全球能源供应 14%(但绝大部分可再生能源为传统能源^①,水电、风能、现代生物能源等可再生能源仅占 1/3),其余 6% 为核能 (UNDP2000)。

目前全球约 1/3 的人口(20 亿人)仍然几乎完全依靠薪柴和其他传统能源来满足其能源需求。这些家庭用不上电、石油或天然气,是他们贫困的主要原因之一。而与此同时,比较富裕的人们则使用越来越多的化石燃料、水电和核能来为他们越来越大的汽车、楼房和电器提供动力。

① 可再生能源包括生物质能、太阳能、风能、水电和地热能。

第一节 能源发展趋势及其影响

按照常规商业预测方案预计,未来几十年全球能源消耗将以每年 2% 左右的速度增长。国际能源机构(IEA)《2000 年世界能源展望》预计,1997—2020 年世界能源需求将增长 54% (图 1-2)(IEA 2000a)。其中,石油消耗将增长 56%,天然气 86%,煤炭 49%。化石燃料在一次能源供应中的比例将从 1997 年的 80% 上升到 2020 年的 84%。发展中国家消耗的传统燃料将继续增长,但其增长幅度远低于化石燃料。

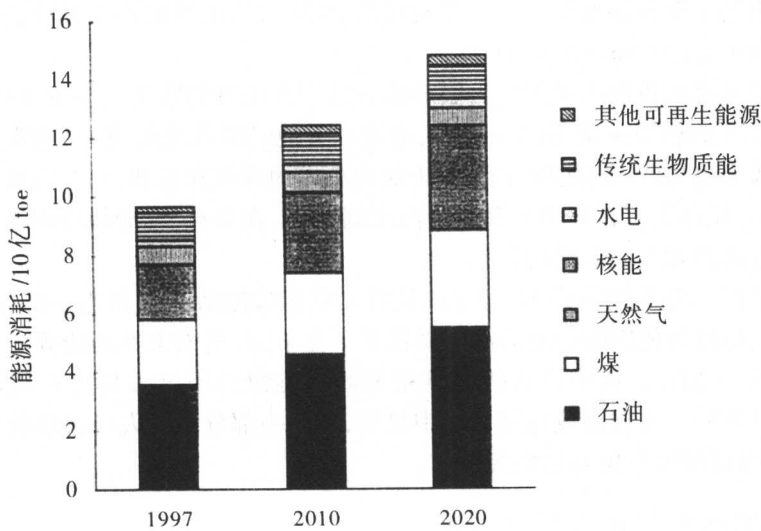


图 1-2 参考情景下的世界一次能源消耗
资料来源: IEA 2000A

其他预测表明,如果继续当前的能源政策和趋势,2025 年全球能源消耗将比 1990 年增长两倍,2050 年则会增长 3 倍,21 世纪后半叶继续增长(Naki cenovic, Grubler, and McDonald 1998)。能源消耗的增长主要是在发展中国家,因为这些国家人口增长速度快,而能源消费水平低。到 2025 年,发展中国家的能源消耗总量将超过发达国家。但是,在这些常规商业预测方案中,发达国家的人均能源消耗仍将继续增长,而且远高于发展中国家的人均消耗量。

对主要依赖化石燃料的大量使用,未来对人类提出了各种各样的挑战,包括

高投入、空气污染、全球变暖、安全危机、资源枯竭和不公平等。

1 高投入

建设电厂、石油和天然气管道以及其他能源供应设施等都需要大量资金。研究表明,如果世界能源消耗继续以每年 2% 左右的速度增长,2000—2020 年能源供应需要 11 万亿~13 万亿美元投资,2020—2050 年需要 26 万亿~35 万亿美元(按 1998 年美元计)^①。这意味着每年需要能源生产和转换投资 5 000 亿~10 000 亿美元,相当于 20 世纪 90 年代每年投资的 2~4 倍。对转型国家而言,未来 20 年能源投资在国内生产总值(GDP)中的比重将达到 7%~9% (Nakićenović 2000)。

有些国家扩大能源投资是可行的,而在转型国家和发展中国家却是困难的,因为这些国家首先要对教育、环境卫生、医疗和农村发展等关键领域投资。同时,许多发展中国家和转型国家受到高额债务的制约,难以吸引私营部门的投资。这些因素限制了亚洲国家和非洲国家对能源的投资,从而也阻碍了其社会 and 经济发展(Rogner and Popescu 2000)。

转型国家和发展中国家的人们对能源费用有切身的感受。在发展中国家,普通家庭收入的相当一部分用于煤油、电池和其他燃料等能源支出,通常这些能源的使用效率也很低。在有些国家,由于能源利用的低效和浪费,加上政府取消能源价格补贴,能源支出在许多家庭中所占比例很高。在乌克兰,能源费用占家庭支出的比例竟达到 40% (IEA2001g)。

即使在一些发达国家,能源支出同样占贫困家庭收入的相当一部分,这在很大程度上是因为他们的住宅能源效率很低。在美国,贫困家庭的能源支出占其收入的 12%~26%,而中产阶级和富裕家庭的能源费用仅占其收入的百分之几(NCLC 1995)。常规商业预测方案中显示,很大一部分世界人口将继续低效地使用能源,因而继续支付高额能源费用。

2 地域和区域性空气污染

燃烧化石燃料造成的空气污染不仅损害公众健康,并且破坏生态系统。在人类活动(与自然活动相对应)产生的大气污染物中,能源生产和使用造成的 SO₂ 排放占 85%,悬浮颗粒物排放占 45%,铅排放占 41%,碳氢化合物排放占 40%,NO₂ 排放占 20% (Holdren and Smith 2000)。这些空气污染物进而形成酸雨、城市烟雾和有害烟尘。同时,化石燃料也是有毒致癌化学物的主要来源之一(EPA 2002)。

① 这些能源情景是在国际应用系统分析学会(IIASA)和世界能源委员会(WEC)资助下,由一个跨国专家小组研究提出(Nakićenović, Grubler, and McDonald 1998)。

据估计,目前全世界约有 14 亿人口遭受户外危险制品的侵害(Watson *et al.* 1998)。由于燃烧效率低下,又缺乏有效的污染控制,东南亚城市的悬浮颗粒物浓度比世界卫生组织(WHO)规定水平高 2~5 倍,中国 80% 以上的主要城市空气中的 SO_2 浓度超过 WHO 规定的限值,有的甚至高 3 倍(Li 1999),铅、CO、氮氧化物、挥发性有机物浓度也超出安全范围。

空气污染的影响很明显,严重的城市空气污染已经造成全球 50 万人死亡。在一些发展中国家的城市,空气污染造成的死亡人数占到总数的 5% (WHO 1997)。据估计,中国城市的空气污染每年造成 17 万~29 万人过早死亡,在印度则是 9 万~20 万人(Holdren and Smith 2000)。如果将中国城市因空气污染引起的人员死亡的影响转换成经济损失,则该损失超过工人平均收入的 20%,接近 500 亿美元(约占 GDP 的 7%)(世界银行 1997)。

燃烧化石燃料引起的空气污染不仅仅是发展中国家的问题。据估算,欧盟成员国发电企业排放的污染物,对公众健康、建筑和农作物造成的损害每年达到 700 亿美元(Krewitt *et al.* 1999),相当于 0.045 美元/kWh,达到欧盟平均零售电价的 50%,也相当于欧盟 GDP 的 1%。这些损害绝大部分来自空气污染对公众健康的不良影响。据估计,在奥地利、法国和瑞士,空气污染每年造成 80 万人患哮喘和支气管炎,4 万人死亡(London and Romieu 2000)。

过去 20 年来,美国绝大多数空气污染物的排放不断降低,但是在很多特大城市,臭氧和悬浮颗粒物浓度提高引起的空气污染问题依然存在。1999 年,约 1.25 亿美国人(占全美国人口 46%)生活在至少一种以上污染物不达标的环境中(ALA 2001)。来自发电厂等源头的可吸入悬浮颗粒物,使成千上万的美国人受到哮喘和其他呼吸系统疾病的折磨,而长期吸入这些悬浮颗粒物增加了患肺癌和心脏病的危险,每年美国有 3 万人因此而过早死亡(Clean Air Task Force 2000)。

在大量生产能源的地方,环境污染尤为严重。例如盛产石油、天然气、煤和铀的哈萨克斯坦,空气、土壤、地表水和地下水的污染都十分严重(Dahl and Kurabayeva 2001),并对里海及其生态系统造成严重影响。同时,铀等化石燃料的生产还带来了很大范围的放射性污染。总而言之,哈萨克斯坦面临着一场由能源污染造成的公众健康问题和生态危机。

许多发展中国家不仅存在严重的大气污染,燃烧薪柴、农业残余物烧饭、取暖引起的室内污染对人体健康的危害更大。在南非,农村家庭的室内微粒浓度高达 WHO 建议上限的 13 倍。流行病学研究表明,人们在这种环境中生活,感染呼吸道疾病的危险比在正常环境中高 5 倍(Spalding-Fecher, Williams, and van Horen 2000)。南非使用煤炭做饭、取暖的家庭同样生活在有害的微粒环境中。

根据 WHO 和有关专家的研究,室内空气污染每年使全世界 180 万人过早死亡,主要是妇女和儿童(WHO 1997),比户外空气污染造成的死亡高 3~4 倍。在印度,室内空气污染每年导致 50 万妇女和儿童过早死亡(Holdren and Smith 2000),比死于疟疾、艾滋病、心脏病、癌症等主要疾病的总人数还要多。

如果我们在 21 世纪主要使用化石燃料,空气质量将继续恶化,并对经济增长和公众健康产生负面影响。在亚洲,由于化石燃料消耗增加,而减污能力不足,今后 20 年空气质量将进一步恶化,从而严重影响公众健康、食物生产和生态系统(Nakicenovic, Grubler, and McDonald 1998)。同样,如果能源发展沿袭按常规商业发展路径,可以预见,几十亿人将继续燃烧薪柴等传统能源烧饭、取暖,导致呼吸系统疾病高发和更多的过早死亡。

3 全球气候变暖

大气中的 CO_2 和其他温室气体正迅速增加并引起全球气候变暖。与工业化之前相比,大气中的 CO_2 浓度增加了 31%,甲烷增加了 151%。今天,空气中的 CO_2 浓度比过去 42 万年来任何时候都高,其增长速度至少在过去 2 万年来是前所未有的(IPCC 2001a)。

随着 CO_2 和其他温室气体的增加,全球平均温度在 20 世纪升高了约 $1.1^\circ\text{F}(0.6^\circ\text{C})$ (图 1-3)(IPCC 2001a)。20 世纪 90 年代是有记录以来最热的 10 年,而 1998 年是过去 1 000 年来最热的 1 年,2001 年次之(ENS 2001c)。

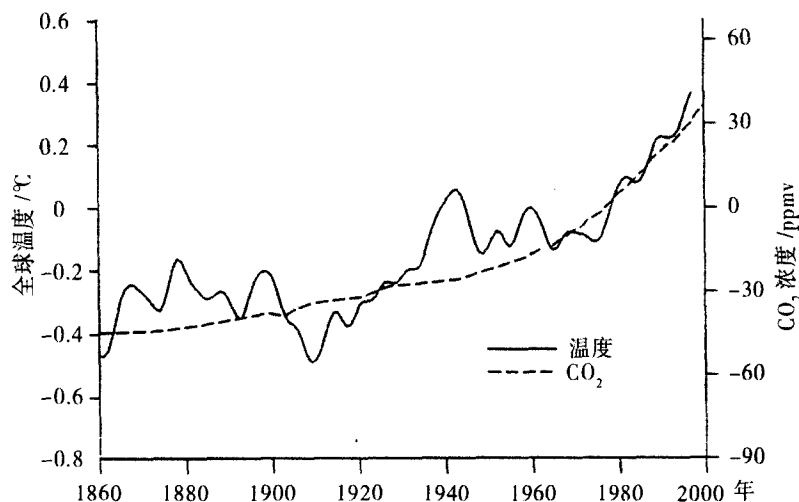


图 1-3 1860-2000 年全球平均表面温度和大气 CO_2 浓度的变化

资料来源:HURRELL 2002

能源相关活动(主要是化石燃料的燃烧)产生的 CO_2 排放,占人类活动产生

CO₂ 总量的 78%, 甲烷则占 23% (Holdren and Smith 2000), 而 CO₂ 和 CH₄ 两种气体造成的全球气候变暖占有所有温室气体的 80%。《联合国气候变化公约》强调指出, 在美国 CO₂ 排放占温室气体总排放量的 85% (见表 1-1)。能源相关活动还产生硫酸盐和悬浮颗粒物, 并在空气对流层形成臭氧, 这些都对全球变暖产生有一定作用。对于 20 世纪特别是过去 10 年的气温升高, 科学家们认为主要是由人类活动引起的 (IPCC 2001 a)。

表 1-1 近年来的美国温室气体排放

单位: Mt-C

气体	1990 年	1995 年	2000 年
CO ₂	1 363	1 447	1 593
CH ₄	178	179	168
NO	106	114	116
HFCs, PFCs, SF ₆	26	27	33
总计	1 672	1 768	1 909

注: HFCs = 氢氟化碳; PFCs = 全氟化碳; SF₆ = 六氟化硫

数据来源: EPA 2002b

全球变暖已经开始造成一系列负面影响, 包括更频繁的气候灾害如干旱、洪水和热浪等, 导致人员死亡、财产损坏和农作物损失, 世界范围内由此造成的经济损失已经从 20 世纪 50 年代的 40 亿美元/a 增加到 90 年代的 400 亿美元/a, 扩大了 10 倍 (IPCC 2001b)。全球变暖还使海平面升高, 在 20 世纪平均升高了约 0.1~0.2 m, 这对岛国和沿海地区极为不利。此外, 全球变暖使冰川后退, 极地冰冠收缩, 并危及珊瑚礁、环礁、红树林、北半球和热带的森林等脆弱的自然系统 (IPCC 2001b, DOS 2002)。

如果目前这种能源供求趋势在 21 世纪继续下去, 全球气候将会显著变暖。随着以化石燃料为主的能源消耗高速增长, 2050 年世界 CO₂ 排放量将增长 2~2.5 倍, 2100 年增长 2.5~3.5 倍。CO₂ 排放量增加后, 海洋和陆地吸收的比例随之减小, 致使 CO₂ 加速在大气中累积, 到 2100 年其浓度达到 700~970 ppmv (IPCC 2001a, Nakicenovic, Grubler, and McDonald 1998), 相当于工业化之前的 2.5~3.5 倍。最新预测表明, CO₂ 和其他温室气体排放增加的共同结果是, 到 2100 年, 平均地表温度将升高 2.5~10℃ (1.4~5.8℃) (IPCC 2001a)。

即使全球气温在较小范围内升高, 也会带来破坏性的后果。它将会增加干旱、飓风和龙卷风的频率和规模, 传播疟疾和登革热等传染性疾病, 增加热浪导致的死亡率, 减少大部分居住环境中的农作物收成, 并破坏全世界的生态系统 (IPCC