

# 能源生产对大气温室气体浓度的影响

## 能源体系必须调整，以减少二氧化碳排放

E. Lansiti 和 F. Niehaus

地球接受太阳的辐射能，它的表面温度是由接受的能量和辐射回空间的能量之间达到平衡时的状态决定的。要是没有大气层的温室效应，这种平衡会在全球平均表面温度为-19 摄氏度 (°C) 时达到。然而，温室气体——诸如水蒸气（包括云）、二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)、甲烷 (CH<sub>4</sub>)、氧化亚氮 (N<sub>2</sub>O)、臭氧 (O<sub>3</sub>) 和含氯氟烃 (CFC)，以及重要性较低的其他一些痕量气体——会捕集从地球表面外逸的红外辐射。这与温室中的情况没有多大差别，温室的窗玻璃让太阳辐射进来，但捕集向外发射的大部分红外辐射，因而增加了温室内部的温度。这就是大气层中的这种现象被称为温室效应的原因所在。正是这种效应，使地球表面的平均温度能够维持在 16 °C 左右，从而允许生命繁衍。

### 全球变暖：“温室效应”

自从工业革命以来，温室气体的浓度一直在稳步增加。目前人们有一种相当一致的看法，认为这将引起大气层捕集的热量增加，导致全球气候变化。可能性较大的变化是气候带向两极移动和海平面升高。\* 雨量分布型式也可能会有变化，还可能出现更加极端的天气条件。这将严重地影响许多国家的生

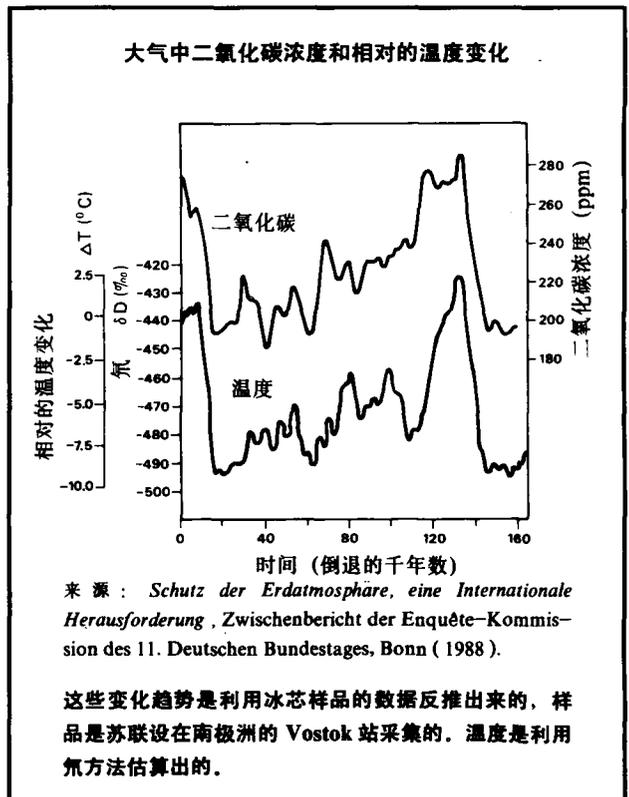
Niehaus 先生是 IAEA 核安全处安全分析科科长。Lansiti 先生是与该处有联系的专家。

\* *The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems*, (SCOPE 29), published on behalf of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions, with support of the United Nations Environment Programme and World Meteorological Organization (May 1988).

活，尤其是世界的粮食生产。

目前，温室气体收支表中的来源项和“去处”项都有很大的不确定性，不仅 CO<sub>2</sub> 和 CFC 如此，N<sub>2</sub>O、O<sub>3</sub> 和 CH<sub>4</sub> 的不确定性更大。此外，由若干种自然原因（其中的许多种还未曾定量地了解清楚）引起的气候变化，或多或少地掩盖了温室气体浓度增加导致的大气变暖现象。\* (见附图。) 另一些比较重

\* *Schutz der Erdatmosphäre, eine Internationale Herausforderung, Zwischenbericht der Enquête-Kommission des 11. Deutschen Bundestages, Bonn (1988).*



要的不确定性是由可以抵消或放大温室气体效应的那些因素的反馈作用引起的。这些因素有云量、工业中愈来愈多地生产的温室气体各种海洋过程。这些不确定性不利于作出减少温室气体排放量的决定。它们甚至会使人觉得，最好在反馈作用变得更为清楚，分析模型得到进一步确证之后，再做出决定。不幸的是，温室气体在大气层及其毗连部分（海洋、生物圈）中的寿命极长；如不使目前的这种释放速度大大降低，温室气体的浓度还会继续增加。此外，海洋和其他反馈机制，使温室气体排放引起温度及其他气候变量明显变化的延迟时间长达 100 年。显然，目前已经发生的种种变化都是不可逆的。因而我们可以讨论已释放到大气中的温室气体会对今后气候发生何种影响。

基于这个缘故，许多国际会议一直建议各国尽快采取措施，减少排放。

能源生产，尤其是燃烧化石燃料的能源生产，在温室气体的生产性释放中占有重要地位。这已促使人们讨论核能在减少温室气体的生产方面所能起的作用。化石燃料的燃烧，每年大约排放 200 亿吨  $\text{CO}_2$ 。核电厂发电则不排放  $\text{CO}_2$  或其他温室气体。用一套 100 万千瓦的核电机组顶替同等功率的燃煤电厂，每年可以少排放 600 万吨左右的  $\text{CO}_2$ 。全世界正在运行的全部核电机组现在每年能少排放 16 亿吨  $\text{CO}_2$ 。

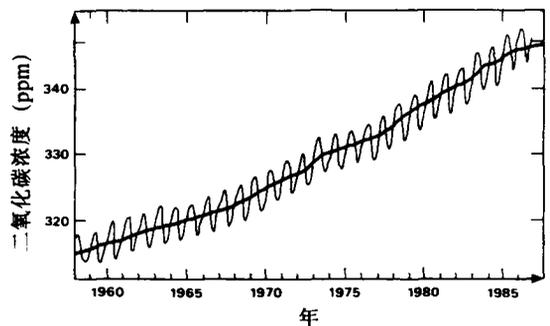
### 主要的温室气体

与温室效应有关的气体有两类：温室气体，诸如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CFC11}$  和  $\text{CFC12}$ ，它们捕集从地球表面逸出的热量并使之返回地面，从而使地球变暖。（ $\text{O}_3$  也吸收直接的太阳辐射场和红外辐射场中的能量。）；可发生化学作用的气体，诸如一氧化氮、一氧化碳、羟自由基等，它们影响温室气体的浓度。

下面对这些主要的温室气体做些简单介绍，它们在使全球变暖方面的作用超过 95%。在估计温室气体的排放量时，必须明确地区分是自然的平衡循环排放，还是干扰这种平衡的人类活动引起的排放。相对说来较小的人为排放却能严重干扰各种温室气体流通量的自然平衡。

**二氧化碳。**目前大气对流层中的  $\text{CO}_2$  浓度已增加到年平均均值 350 ppmv（体积百万分率）。在北半球中，每年的周期性变化量最高达到 15 ppmv。（见附图。）浓度的变化主要起因于陆上光合作用的经常性变化，少部分起因于海面温度的年变，这种变化影响气体在海水中的溶解度。海洋内光合作用的变化也

大气中二氧化碳的浓度，1958—1986 年



来源：Schutz der Erdatmosphäre, eine Internationale Herausforderung, Zwischenbericht der Enquête-Kommission des 11. Deutschen Bundestages, Bonn (1988)

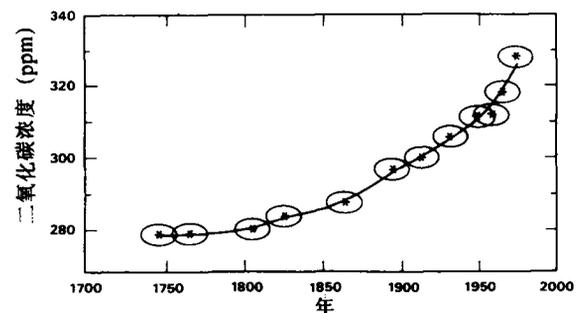
根据在夏威夷冒纳罗亚的观察，月平均值和年平均值的变化与光合作用和海面温度等季节性因素有关。

有影响，但不大。人们已用分析截留在冰中的空气的办法，追踪到了以往大气中的  $\text{CO}_2$  浓度。总的趋势表明，在工业革命和农业活动扩大之前， $\text{CO}_2$  浓度为  $275 \pm 10$  ppmv；目前每年增加  $1.5 \pm 0.2$  ppmv 或 0.4%。\*（见附图。）

$\text{CO}_2$  的循环是相当复杂的，而且自然的来源和去处比人为活动引起的大得多。（见附表。）碳是地球生物的关键元素。它在大气及其紧密毗连部分（海洋上层、生物圈）中的滞留时间很长，约为若干世纪。在

\* 见上页注，The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems (SCOPE 29)。

利用冰川冰块测量结果得到的过去 200 多年内大气中二氧化碳的浓度



来源：Nefel et al., 1985, as cited in "How much  $\text{CO}_2$  will remain in atmosphere?", by B. Bolin, The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems (SCOPE 29) (May 1988)。

## 全球每年二氧化碳的来源与去处

来源	10 <sup>9</sup> t / a	百分数
<b>自然来源</b>		
海洋来源	~ 376—390	~ 60
陆地来源	~ 32—440	~ 36
自然来源合计	~ 619 (408—830)	~ 96
<b>人为来源</b>		
化石燃料使用	~ 16—20	~ 3
陆地生物使用转化	~ 0—10	~ 1
人为来源合计	~ 22 (16—30)	~ 4
来源总计	~ 642 (424—860)	100
<b>去处</b>		
海洋吸收	~ 389—396	~ 64
陆地植物初级生产 净吸收	~ 183—257	~ 36
去处总计	~ 612 (572—653)	100

来源: Based on *A primer on greenhouse gases*, US Department of Energy ( March 1988 ) and "Energy, climate, environment", *Energy and climate change: What can Western Europe do ?*, Directorate General for Environmental Protection, Netherlands ( February 1988 ).

## 全球每年甲烷的来源与去处

来源	10 <sup>6</sup> t / a	百分数
<b>自然来源</b>		
湿地	~ 60—160	~ 24
白蚁	~ 5—45	~ 5
海洋	~ 7—13	~ 2
野生动物	~ 2—8	~ 1
湖泊	~ 2—6	~ <1
冻土带	~ 1—5	~ <1
其他	~ 0—80	~ 9
自然来源合计	~ 197 (77—317)	~ 43
<b>人为来源</b>		
养牛	~ 40—110	~ 16
生物燃料燃烧	~ 30—110	~ 15
稻田	~ 40—100	~ 15
天然气及开矿泄漏	~ 25—75	~ 11
人为来源合计	~ 265 (135—395)	~ 57
来源总计	~ 462 (212—712)	100
<b>去处</b>		
对流层中与羟自由基反应	~ 250—450	~ 85
平流层中与羟自由基、 氯、氧反应	~ 30—70	~ 12
土壤中微生物摄入	~ 5—15	~ 3
去处总计	~ 410 (285—535)	100

来源: Based on *A primer on greenhouse gases*, US Department of Energy ( March 1988 ) and "Energy, climate, Oenvironment", *Energy and climate change: What can Western Europe do ?*, Directorate General for Environmental Protection, Netherlands ( February 1988 ).

目前条件下, CO<sub>2</sub> 的总排放量中只有 40—50% (气截部分) 滞留在大气中。

按照当前的一些模型 (模型中的许多反馈因子有待更好证实), CO<sub>2</sub> 的浓度如果翻一番, 全球平均的平衡表面温度就会增加 1.5—4.5 °C。不管怎样, 目前的分析表明, 现在的证据已足以证明需要作出政策决定。目前使全球变暖的原因中, 大约有 50% 归因于人类活动所增加的 CO<sub>2</sub>。考虑到某些起放大作用的反馈因素, 如天然产生的沼气 (CH<sub>4</sub>), 该百分数可能会更高。

**甲烷 (沼气)**。1985 年, 北半球的 CH<sub>4</sub> 浓度为 1.7 ppmv, 南半球为 1.6 ppmv。目前的趋势是每年增长 1.1 ± 0.1% (根据 1951—1983 年的值算出)。(见附图。) 这种长期趋势是从对截留在格林兰岛和南极洲大冰原中的气泡所作的分析中获得的。CH<sub>4</sub> 主要是有机碳在严重缺氧条件下 (如在水涝地和食草动物肠内) 无机化期间, 由微生物活动释放的。天然气开发、生物燃料的燃烧和采煤等人为活动, 也释放 CH<sub>4</sub>。(见附表。) 全球由人为活动产生的 CH<sub>4</sub> 估计为 135—395 × 10<sup>6</sup> 吨/年, 不确定性相当大。CH<sub>4</sub> 主要消耗于对流层中与羟自由基进行的反应。其他的去处是迁移至平流层后被氧化。CH<sub>4</sub> 在大气中的寿命为 7—10 年。

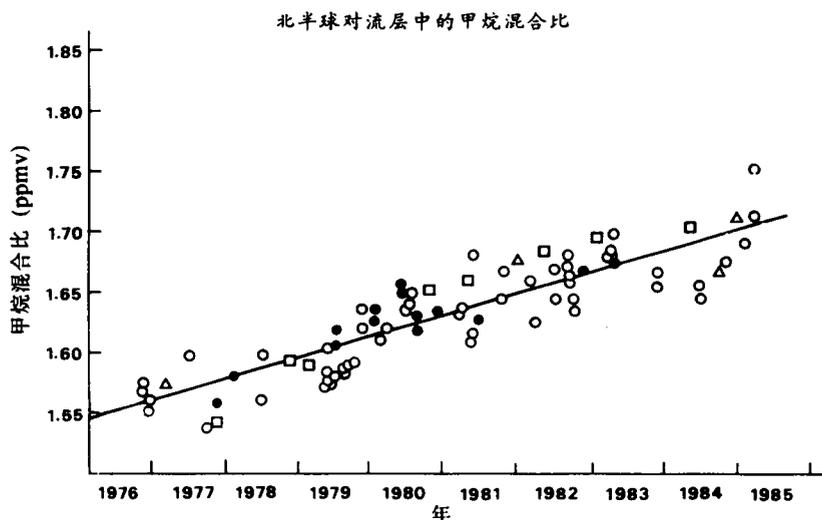
一个重要的事实是, 每个 CH<sub>4</sub> 分子作为温室气体的效力是 CO<sub>2</sub> 分子的 32 倍。\* 据估计, 目前使全球变暖的原因中, 大约有 19% 可归因于 CH<sub>4</sub>。

**氧化亚氮**。19 世纪末以来, 人们一直截留在南极洲冰芯中的空气的测量结果了解 N<sub>2</sub>O 的浓度。1985 年的 N<sub>2</sub>O 浓度为 0.31 ppmv, 曲线走向表明每年增长 0.2—0.3%。N<sub>2</sub>O 的大气寿命很长, 大约是 150 年。这种气体主要是由土壤和水里的微生物活动自然释入大气的, 是自然界氮循环的一部分。人为来源则是化石燃料的燃烧和土壤的耕作。(见第 16 页表。) 主要的去处是平流层的光分解及与氧的反应。据估计, 目前使全球变暖的原因中, 大约有 4% 可归因于 N<sub>2</sub>O。

**含氯氟烃**。含氯氟烃主要有 CFCl<sub>3</sub> (CFC11) 和 CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> (CFC12)。没有任何自然来源。它们全部是由人为活动产生的, 主要是人工制造的各种冷冻剂、

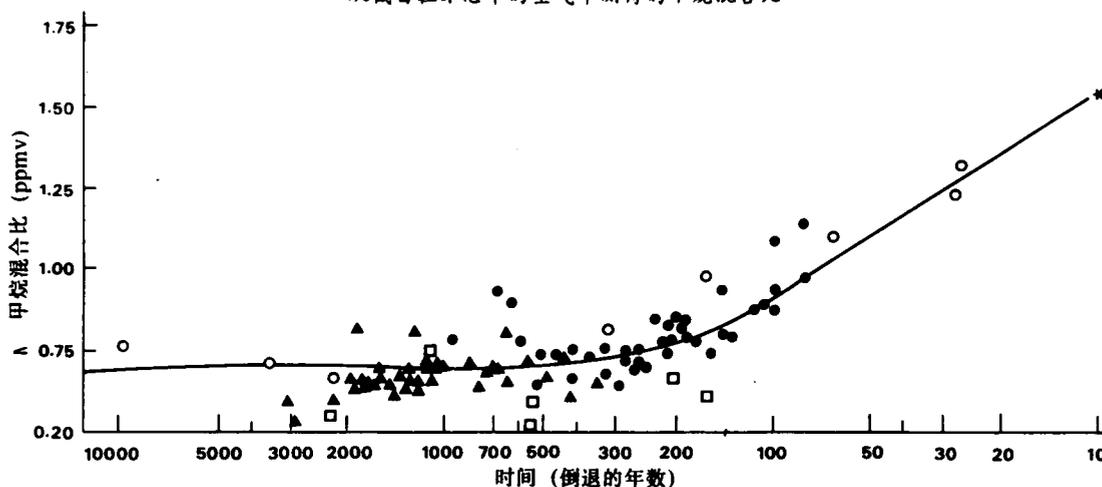
\* *Schutz der Erdatmosphäre, eine Internationale Herausforderung, Zwischenbericht der Enquête-Kommission des 11. Deutschen Bundestages, Bonn (1988).*

大气中过去及现在的甲烷（沼气）浓度



这些数据是在飞机上 (○)、船上 (□) 及在纯洁空气条件下在不同陆地站 (△) 测得的。图中还包括了 Rowland 及其同事们 (参见 Blake, 1984 年) 在太平洋上同纬度的空中测得的数据 (●)。

从截留在冰芯中的空气中测得的甲烷混合比



来源: "Other greenhouse gases and aerosols", by H. - J. Bolle, W. Seiler, and B. Bolin, *The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems* (SCOPE 29) (May 1988).

●和▲是 Rasmussen 及 Khalil (1984) 的数据, 分别表示从格陵兰和南极洲的冰芯测得的值。○是 Craig 及 Chou (1982) 的数据, □则是 Robbins et al. (1973) 的数据。

流体和气溶胶推进剂, 以及由塑料起泡过程产生的。它们在对流层中无去处, 在平流层中因参与 O<sub>3</sub> 消耗过程而分解。CFC11 的大气寿命大约为 75 年, CFC12 约 110 年。1983 年, CFC11 的浓度为 200 ppbv (体积十亿分率), CFC12 为 310 ppbv。估计年增长率为 5% 左右。

1987 年间, 鉴于 CFC 对于平流层 O<sub>3</sub> 的消耗影响较大, 提出了一项国际协定, 即《蒙特利尔议定

书》。该协定的目的在于使工业化国家到 2000 年时 CFC 的使用量减少 50%。前不久, 国际上还确定了彻底放弃使用 CFC 的目标。

每个 CFC11 和 CFC12 分子作为温室气体的效力分别是 CO<sub>2</sub> 分子的 14 000 倍和 17 000 倍。\* 据

\* 见第 12 页注, *The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems* (SCOPE 29)。

## 全球每年氧化亚氮的来源与去处

自然来源	10 <sup>6</sup> t/a	百分数
天然土壤	~ 9—31	~42
海洋和港湾	~ 3—9	~13
自然来源合计	~12—40	~55
人为来源		
化石燃料燃烧	~ 9—16	~26
天然土壤耕作	~ 3—6	~ 9
土壤施肥	~ 2—3	~ 5
生物燃料燃烧	~ 2—3	~ 5
人为来源合计	~22 (16—28)	~45
来源总计	~48 (28—69)	100
主要去处		
平流层光分解及 与氧反应	~24—42	~100
去处总计	~33 (24—42)	

来源: Based on *A primer on greenhouse gases*, US Department of Energy ( March 1988 ) and "Energy, climate, environment", *Energy and climate change: What can Western Europe do ?*, Directorate General for Environmental Protection, Netherlands ( February 1988 ).

估计, 目前使全球变暖的原因中, 大约 5% 可归因于 CFC11, 10% 可归因于 CFC12。释放量中的 5—10% 间接与能源有关, 比如, 生产用于节能的绝缘材料时会产生一些 CFC。

**臭氧。** O<sub>3</sub> 是太阳辐射和红外辐射的主要吸收体。对流层 O<sub>3</sub> 一部分是从平流层迁移来的, 一部分来自对流层的光化学反应。平流层 O<sub>3</sub> 主要是通过氧分子的光解离、离解生成的氧原子继之在存在着催化剂的情况下与 O<sub>2</sub> 化合而生成的。O<sub>3</sub> 与氧原子重新组合和催化反应过程引起 O<sub>3</sub> 的破坏。O<sub>3</sub> 在对流层中的寿命很短 (短则几小时, 长则几天); 因此, O<sub>3</sub> 浓度具有较大的因地制宜性, 因而它的变化趋势很难测定。文献中给出, 对流层中 O<sub>3</sub> 的平均浓度为 0.02—0.1 ppmv, 而平流层中 O<sub>3</sub> 的平均浓度为 0.1—10 ppmv。卫星和陆基的测量结果表明, 平流层中 O<sub>3</sub> 的浓度正在减少, 而对流层中 O<sub>3</sub> 的浓度正在增加。目前使全球变暖的原因中, 大约 8% 可归因于 O<sub>3</sub>。

## 能源生产

有关能源生产对温室气体排放量贡献的估计, 不确定性很大。(见本页附表和第 17 页圆饼图。)

**按燃料分列的全球二氧化碳排放量。** 1950 年以来, CO<sub>2</sub> 排放量一直在稳步增长, 在 1973 年和 1979

年两次石油危机之后出现过高峰。(见附图。) 尽管 1979 年的石油危机导致石油消费量趋于稳定, 但天然气消费量仍是上升的趋势。煤炭消费量显著增加, 其增加趋势甚至高于其历史值。这样, 煤炭在 CO<sub>2</sub> 排放量方面的地位恢复到了 60 年代后期以前一直保持着的领先状态。这导致了 CO<sub>2</sub> 排放量在 1986 年达到创纪录的水平。事态的这种发展, 恰与科学界有关降低 CO<sub>2</sub> 排放量的种种倡议背道而驰。目前种种增加煤炭消费量的计划, 将使形势急剧恶化。

应该指出, 如果现在做出的 2000 年预测是正确的, 那么到时候中国一家所用的煤炭, 就会比经济合作与发展组织 (OECD) 全部国家今日所用的还多。预计世界煤炭消费量要增加 40%, 这大致等于 OECD 国家现在的消费量, 或美国现在消费量的两倍。(见下表。)

**按国家分列的 CO<sub>2</sub> 排放量。** 1950 年以来, 来自发展中国家的 CO<sub>2</sub> 排放量一直在迅速增加, 工业化国家对 CO<sub>2</sub> 排放量的贡献则相对地减小。(见第 17 页附图。) 1950 年以来, 人均排放量几乎毫无例外地一直在急剧增加。各国今日在人均排放量方面的巨大差别也表明, 各国就减少 CO<sub>2</sub> 排放量达成一项协议, 例如实现 1988 年多伦多会议确定的到 2005 年把

## 由能源生产产生的各种温室气体所占百分数

	与全部自然 来源相比	与全部人为 来源相比
二氧化碳	2—4	65—98
甲烷	10—30	16—48
氧化亚氮	18—38	65—100
CFC	不详	5—10*

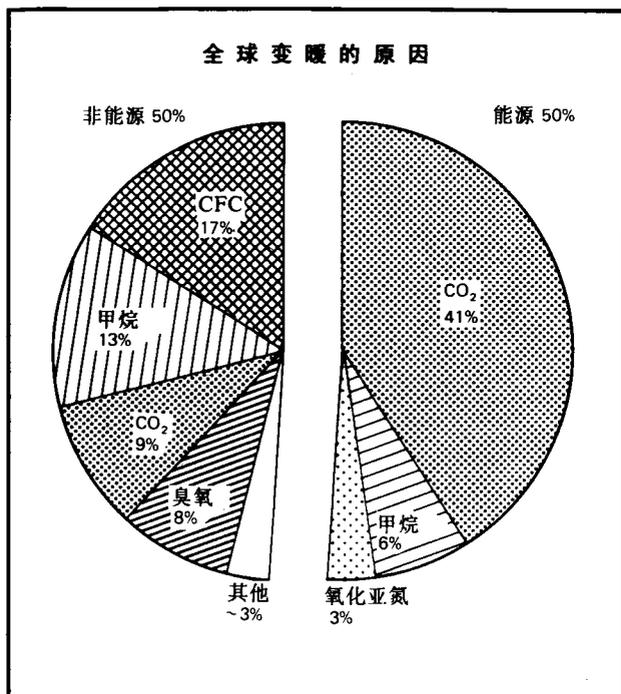
\* 来自节能的间接贡献。

## 煤消费量的预测 (Mt 石油当量 / a)

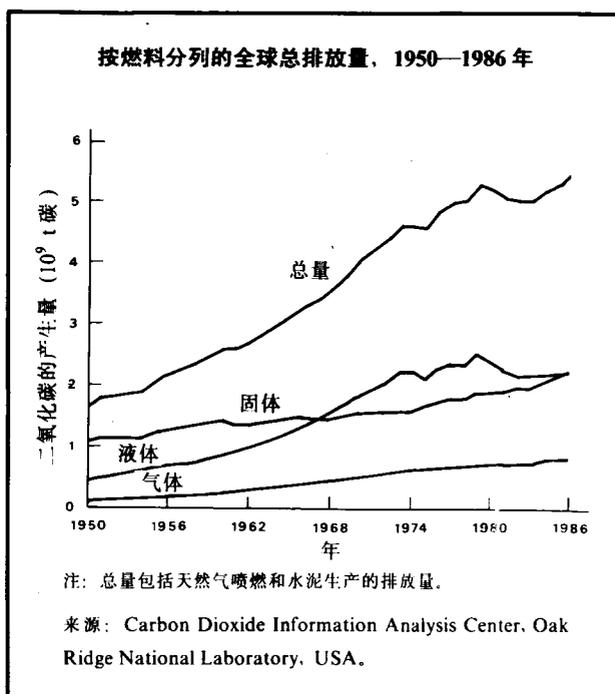
	1985—1986	2000	增加
中国	700	1400	+100%
美国	680	900	+ 32%
澳大利亚	43	62	+ 44%
印度	140	440	+214%
全世界	3200	4500	+ 40%
经合组织部分	1200	1640	+ 37%

来源: International Energy Agency of the Organisation for Economic Co-operation and Development 1986 ( USA, Australia data ); World Energy Conference 1986 ( World total data ).

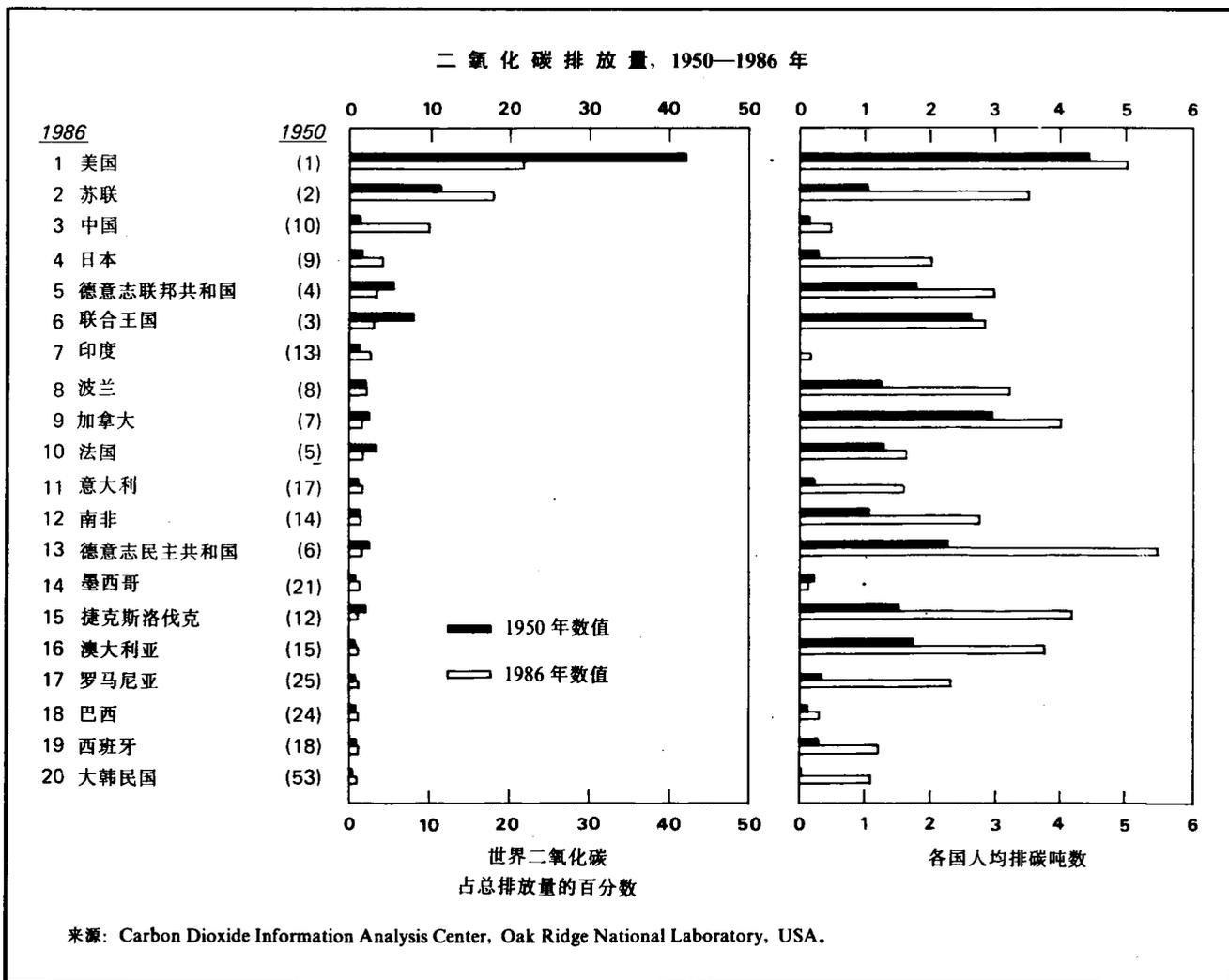
全球变暖的原因



按燃料分列的全球总排放量, 1950—1986年



二氧化碳排放量, 1950—1986年



## 按地区和经济部门分列的 1984 年碳排放量

	百分数 (四舍五入值)					总计 (10 <sup>6</sup> t)
	工 业	运输业	其 他	发电业	能源生产 行业自用 *	
亚洲	38	11	21	26	3	642.54
非洲	28	20	11	40	1	136.31
拉丁美洲	23	32	12	19	15	203.69
OECD	23	24	17	28	8	2622.00
CMEA	21	8	17	43	11	1378.94
总计	24	18	17	32	8	4983.48

\* 分配及转化损失的二次能源。

注：非洲地区包括非洲的 17 个国家加上伊朗 (1982 数据) 及阿尔及利亚 (1982 数据)。亚洲地区包括亚洲的 15 个国家加上中国 (1980 数据) 及中国台湾 (1984 数据)。拉丁美洲地区包括 16 个国家加上墨西哥 (1982 数据)。经济合作与发展组织 (OECD) 数据涉及 25 个国家；经济合作与互助委员会 (CMEA) 包括 7 个国家。某些国家未被考虑或只是部分被考虑，它们是：阿尔及利亚、黎巴嫩、阿拉伯利比亚民众国、南非、伊朗、朝鲜民主主义人民共和国及叙利亚。

来源：Energy balances and electricity profiles, United Nations (1982) for Africa, Asia, and Latin America data; Energy balances 1970—85, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) for OECD data; Energy balances for Europe and North America 1970—2000, UN Economic Commission for Europe, for data on Council for Mutual Economic Assistance (CMEA) countries.

来源：T. Müller (consultant), IAEA Planning and Economic Studies Section, Division of Nuclear Power.

CO<sub>2</sub> 排放量减少 20% 的目标，是何等艰难。显然，只有所有国家共同努力，CO<sub>2</sub> 排放量才能被稳定下来。不过，由于各国技术能力和替代能源资源等方面的情况不同，出现不同的战略也是不可避免的。

**按行业分列的 CO<sub>2</sub> 排放量。** CO<sub>2</sub> 排放量的另一个重要侧面是其按经济部门的分布情况。发电业对 CO<sub>2</sub> 的排放起着重要作用。(见附表。) 就全世界而言，CO<sub>2</sub> 排放量的 1/3 左右来自发电业；1/4 左右来自工业；来自运输业的不到 1/5；来自其他活动(包括服务业、农业和家庭)的也不到 1/5；来自转化损失和能源加工工业自用的不到 1/10。发电业所占百分数因地而异：拉丁美洲最低，为 19%；经济互助委员会 (CMEA) 国家最高，达到 43%。

长期以来，发电量一直在以比国民生产总值 (GNP) 或能源产量高得多的速率增长。在 OECD 国家，1973—1985 年的能源总产量仅增加 4%，而发电量却增加了 39%。就全世界而言，同期发电量

增加了 57%。(见下表。)

可供选择的控制 CO<sub>2</sub> 排放量的政策方案

鉴于这些趋势，人们普遍认为，再也不能继续做增加大气温室气体，尤其是 CO<sub>2</sub> (其最大来源是化石燃料的燃烧) 的这种“全球性实验”了。记住以下事实是重要的，能源体系的大规模发展有一些明确的历史趋势，即使象石油危机之类的干扰，也只能使这些趋势发生相当轻微的变化。只要看一下能源投资的“周期”和它们与工业及经济发展的关系便可知道，要在短时期内改变这种历史趋势是不可能的 (也是人们不愿意的)。

只有立即采取一套相辅相成的措施，才能使 CO<sub>2</sub> 问题得到解决。互相搭配起来的这套措施，每一项都应该对这个问题的解决作出一份贡献。从总体上看，这些措施也应该是比较灵活易变、对经济发展的干扰较少的。如果某些步骤从其他方面考虑也是正确的 (例如，降低其他温室气体和大气污染物的排放量，或减少废物的产生量)，那这些措施就能起到事半功倍的作用。

不过，应该指出，即使温室气体保持目前的这种排放量 (也就是让它们继续以现在的速率进入大气)，也并不能阻止大气层中的这些气体浓度继续

## 国民生产总值、能源和电力的增长情况，1973—1985 年

	国民生产总值	能 源	电 力
全世界	42%	29%	57%
OECD	33%	4%	39%

增加。现在还不知道，浓度增加多少是允许的。鉴于这个系统有很大的惯性，因此最重要的是要使这样快的增加速度慢下来，并在生活方式、工业开发和能源生产方面引入一些变化，为采用各种灵活的响应战略创造条件。这样一些战略有可能随着对这个问题的理解的加深，而逐步加强和加速。在这方面，气候变化政府间委员会 (IPCC) 正在探索一些景象的蕴涵。这些景象设想，到 2030、2060 和 2090 年时，大气 CO<sub>2</sub> 浓度连续翻番，还设想了一个 2060—2090 年大气 CO<sub>2</sub> 浓度不增加的景象。

能源体系必须进行改造，做到每产出一单位能源服务效果所排放的 CO<sub>2</sub> 较少。

为达到这个目的，可供选择的基本方案有：

- 更有效地利用碳基一次能源。这也能导致较少地排放与能源有关的各种温室气体。

- 从煤变换到释放 CO<sub>2</sub> 较少的燃料。这种“燃料变换”也能导致环境污染的减少。不过，这种做法对 CO<sub>2</sub> 以外温室气体的影响相当小。变换到天然气将导致 CH<sub>4</sub> 排放量增多 (天然气损失量一般估计为销售量的 1%)，而每个 CH<sub>4</sub> 分子作为温室气体的效力则是 CO<sub>2</sub> 分子的 32 倍。

- 使用核能。核能不排放任何温室气体。除发电外，核能的未来应用将扩展到为工业和其他用途生产工艺用热，为运输业生产不产生温室气体的特种燃料。

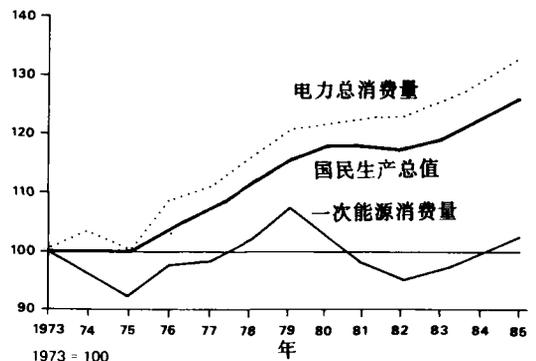
- 使用可再生能源 (例如太阳能、风能和生物量能)。可再生能源不排放温室气体。目前，这些技术的经济性尚未过关，而且，如果技术上没有重大突破，它们的利用也只能限于分散的小规模应用。但是，在条件较为有利的国家，这些能源的总数量是相当可观的。

- 执行各种缓解战略。它们包括重新植树造林，把 CO<sub>2</sub> 排入深海水域或枯竭的油田或天然气田等多种措施。

一个国家应该采取怎样的一套措施？应该把重点放在哪里？这主要取决于它们的技术发展水平和拥有什么样的替代能源资源。

**事例分析。**例如在美国，最近 15 年中的 CO<sub>2</sub> 排放量一直是稳定的。与每单位经济产出相对应的 CO<sub>2</sub> “排放效率”已提高约 20%。也就是说，比排放量已从每 10 亿美元 (1982 年美元) GNP 的 47 万吨下降到 35 万吨。\* 这主要是通过提高能源利用效率、增加电的使用范围和大量增加核电取得的。

德意志联邦共和国一次能源消费量、电力总消费量和国民生产总值的发展趋势，1973—1985 年



来源: Energy Report of the Government of the Federal Republic of Germany, Federal Ministry of Economics, Bonn (1986).

这种变化是在尽量降低成本和环境影响的思想指导下发生的，当时头脑里并没有明确地想到要专门把 CO<sub>2</sub> 的排放量降到最小。

在德意志联邦共和国，也可以看到类似的变化。\*\* 1973—1985 年期间，GNP 增加 (±26%)，而 CO<sub>2</sub> 排放量则下降 (-11%)。这种变化是在能源的生产和使用方面采取了下列措施后取得的。

- 更有效地利用能源。尽管 GNP 有很大增加，但一次能源的总消费量只有少量增减，基本保持不变。(见附图。)与这种变化并存的一个现象是，电力需求急剧增加。(这种电气化趋势，是全世界尤其是 OECD 国家正在发展的反映。)通过改用效率更高的产品和服务，工业方面实现了节能。在室内取暖和石油消费方面，也实现了节能。尽管采用了更有效地利用电力的方法，但电力消费量还是增加。

- 燃料变换。1973 年，按所有燃料平均的 CO<sub>2</sub> 比排放量，比如果全部用煤满足所有能源需求时可能达到的值低 13%。1985 年，由于减少了石油和煤的

\* “Energy and the greenhouse effect”, Science Concepts, Inc., Washington, DC (March 1989).

\*\* 基于 SCOPE 29 (参见第 12 页注) 报道的数据及 Energy Report of the Government of the Federal Republic of Germany, Federal Ministry of Economics, Bonn (1986).

使用量，同时增加了天然气和核电的份额，这个差值增加到 24%。

● 使用核电。核电在一次能源产量中的份额，从 1% 增加到 11%。

这些变化也是在没有打算把 CO<sub>2</sub> 排放量降到最低的情况下取得的。然而它们表明了，如果采取并进一步加强上述基本政策，降低 CO<sub>2</sub> 排放量的潜力是很大的。

### 政策方面的推论及核能的作用

当然，从美国及德意志联邦共和国的实例中得出的政策，比较适合于工业化国家，对于发展中国家的适用性就差些，这一点是很清楚的。发展中国家将来需要而且目前正在计划大量增加主要基于化石燃料的一次能源消费量。由于工业化国家要对大气中二氧化碳含量的增加负主要责任，所以他们有“超比例”减少 CO<sub>2</sub> 排放量的义务。对于气候条件比较有利的发展中国家，应设法使用可再生的能源资源。

核能对解决 CO<sub>2</sub> 问题可以作出重大贡献。与同等功率的燃煤电厂相比，每套电功率为 100 万千瓦的核电机组，每年可少排放 600 万吨左右的 CO<sub>2</sub>。合起来说，全世界 430 套核电机组现在每年能少排放大约 16 亿吨 CO<sub>2</sub>，即目前 CO<sub>2</sub> 总排放量的 8%。这个数字大体上等于多伦多会议提出的减少目标的 40%，由此可见，这确实是相当可观的。如果靠重新植树造林来达到同样的效果，则需要大量的土地。例如在德意志联邦共和国，在林木枝叶生长过程中，每公顷森林每年可吸收约 3 吨碳。在气候条件更好的地区，此值可以加倍。也就是说，每公顷森林可以依气候条件的不同每年从大气中吸收 10 至 20 吨 CO<sub>2</sub>。因此，为了吸收一座 100 万千瓦核电厂与同等功率的燃煤电厂相比少排放的那部分 CO<sub>2</sub>，需要 3000—6000 平方公里的森林。因此，与目前所有核电厂少排放的 16 亿吨 CO<sub>2</sub> 相对应的森林面积约为 100—200 万平方公里，或者说相当于德意志联邦共和国领土面积的 4—8 倍。这还没有考虑枯死树木如果不埋藏且与空气隔绝就会因氧化作用而产生的 CO<sub>2</sub>。

鉴于电力消费量的迅速增加，许多国家（虽然不是所有国家）仍有发展核电的巨大潜力。当然，如果核电的装机容量超过目前容量一倍以上，则对核安全、核燃料循环设施及国际安全保障体系来说都是一种新的挑战。此外，为了使核动力对发展中国家更有吸引力，还需要做许多工作，甚至包括帮助解

决集资方面的困难及在核燃料循环各个阶段上进行更好的国际合作。

考虑到工业化国家对 CO<sub>2</sub> 问题负有特殊的责任及他们的技术能力，他们有义务更广泛地利用现有类型的反应堆，并比较快地使容量较小的新型反应堆过关，这类反应堆应以比较简单且标准化的技术为基础，并更多地应用非能动安全设施。目前正在开发的此类设计种类繁多，其中包括高温反应堆，估计它们将在几年内投入使用。在对废物处置、燃料供应及防止核扩散等问题作了反复考虑之后，最终或许有必要开发以不同技术和不同燃料循环特征为基础因而差别很大的多种设计。这一政策或许也有助于（至少是部分地）解决公众的认可问题。

### 结论

● 鉴于这个问题的重要性，因而有必要立即采取行动，尤其是费用少效益高及从别的环境和经济角度看也是正确的那些行动。

● 应选择能使目前已有的好趋势进一步加大，因而对社会发展破坏性最小的那些方案。

● 所有国家，尤其是工业化国家，应严格地奉行以下的政策，即有效利用碳基一次能源、燃料变换、在条件合适的地方使用核能，及在条件比较有利的地方使用可再生能源。

● 必须根据每个国家的技术能力、经济状况、可供选择的替代能源方案以及过去排入大气的 CO<sub>2</sub> 量，确定各自在减少 CO<sub>2</sub> 排放量方面应作出的努力。

● 更有效地使用能源、燃料变换及使用核能，除了对减少 CO<sub>2</sub> 排放量会有好处外，从环境的其他方面看也是令人满意的。

● 关于全球气候变暖问题，现在尚无定论。问题也许比现在估计的更严重些，也许更轻些。因此，现在采取的策略要允许将来能够加以调整，这一点十分重要。尤其是这里涉及到核能，因为将来或许有必要建造大量的反应堆。因此，工业化国家应高度优先地使新型核技术过关。

● 工业化国家应努力帮助发展中国家减少 CO<sub>2</sub> 排放。在使用 CO<sub>2</sub> “排放效率”较低的那些技术的地方，这样做费用少效益又特别高。

● 除了要减少能源生产方面的温室气体排放外，还必须采取一些补充措施，避免其他来源释放温室气体。