



全球温室效应及其影响

尹荣楼 王 玮 尹 斌 编著

文津出版社

全球温室效应及其影响

尹荣楼 王玮 尹斌 编著

文 津 出 版 社

(京) 新登字 205 号

全球温室效应及其影响
QUANQIU WENSHI XIAOYING
JIQI YINGXIANG

尹荣楼 王玮 尹斌

*

文津出版社出版
(北京北三环中路6号)

邮政编码: 100011

北京出版社总发行
新华书店北京发行所经销
北京朝阳广益印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7.5印张 154 000字

1993年7月第1版 1993年7月第1次印刷

印数 1—2 100

ISBN 7-80554-178-7/X·3

定价: 6.10元

前 言

温室效应的研究是目前环境科学的重大热门之一，已引起了各国政府和科学家的高度重视。本书全面系统地探讨了温室效应的形成机制、各种扰动因素对温室效应的影响和贡献。温室效应虽然主要体现在大气和地表升温，但是其形成和发展过程还受到地表其他圈层影响因素的制约。为此，书中较详细地讨论了地球各圈层与温室效应的关系。本书还重点讨论了温室效应对大气、地表升温以及海平面上升等的影响，并进而提出气候变化的控制对策，为管理和决策部门提供了科学依据。

本书可供有关科技人员、各级环境管理人员以及其他读者使用。同时，还可供大专院校有关专业师生做为参考用书。

由于水平所限，书中若有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

1992年11月

目 录

绪论	1
一、全球 CO_2 的循环和分布	4
(一) 地球 CO_2 的起源和变迁	4
(二) 自然界 C 的循环和分布	6
1. 自然界 C 的源、汇及其通量	6
2. 人类活动影响前大气中 CO_2 的分布状况	9
(三) 人类活动对大气中 CO_2 的影响	10
1. 大气中 CO_2 的含量极易受人类活动因素的 扰动	10
2. 人类活动排放的 CO_2 是大气中 CO_2 增加的直 接原因	11
3. 大气中 CO_2 浓度今后仍将呈继续增长的趋势	14
二、海洋中 CO_2 的循环及其与大气中 CO_2 的关系	17
(一) 海洋在 C 循环中的地位和作用	17
(二) 海洋中 C 的来源、分布和循环	18
1. 海洋中 C 的主要来源	18
2. 海洋中主要无机和有机 C 化合物的动态变 化	19
(1) 海洋中 CaCO_3 的生成、溶解和积累	19
(2) 海洋中有机 C 化合物的生成、溶解和积累	20
3. 海水与海洋含 C 堆积物之间的作用	20

4. 海洋中 C 的总体分布和循环	23
(三) 海洋中表层海水 CO_2 分压的变化	25
(四) 海洋对大气中增加的 CO_2 的吸收	30
三、 CO_2 和生物圈的关系	39
(一) 大气中 CO_2 与生物圈的互相影响作用	39
(二) CO_2 在生物圈中的分布	40
(三) 陆地生态系统中 C 的循环过程	44
(四) 森林对 CO_2 吸收量的计算	46
(五) 森林中 C 的循环模式	50
四、岩石圈中含 C 化合物的分布和循环	54
(一) 岩石圈中含 C 化合物的概况	54
(二) 岩石圈中的含 C 化合物及其形成过程与分 布状况	55
1. 岩石圈中的含 C 化合物	55
2. 岩石圈中的碳酸盐化合物	57
3. 沉积岩中的有机 C 化合物	62
(三) 岩石圈中涉及含 C 化合物的风化作用及其 过程	63
(四) 岩石圈与外界之间 C 的交换和迁移	66
五、大气中 CO_2 浓度的时空分布特性及其变迁	68
(一) 大气中 CO_2 浓度的精密监测方法	68
1. 非分散红外分析仪	68
2. 样品采集瓶和分析系统	69
3. 大气 CO_2 连续测定装置	71
4. 有关大气 CO_2 采样和分析中的注意事项	72

(二) 以日和周为时间尺度的大气 CO_2 浓度短期 不规则性变化	73
(三) 大气中 CO_2 浓度的季节性变化	77
(四) 大气中 CO_2 浓度的逐年变化	83
(五) 大气中 CO_2 的垂直分布	87
(六) 排放源和吸收源对大气中 CO_2 浓度分布的 影响	92
六、有关温室效应模式及其应用	95
(一) CO_2 循环模式及其构成特点	95
1. 箱模式	96
2. 箱扩散模式	99
3. 混合扩散模式	101
4. 复合箱模式	103
5. 海表扩散模式	108
(二) 各模式特点和评述	112
1. 统一比较条件的设定	112
2. 各模式的特点	113
(三) 各模式对将来大气 CO_2 浓度的预测	120
1. 化石燃料消费方式的设定	120
2. 各模式的预测结果	122
七、其它温室气体和相关因素对温室效应的影响	129
(一) CO_2 以外其它温室气体的分布状况和发展 动态	130
1. 甲烷(CH_4)	130
2. 一氧化二氮(N_2O)	137
3. 氟氯烷烃(CFCs)	143

4. 对流层 O_3	149
5. 平流层 O_3	154
(二) 各种温室气体对温室效应的影响及其综合评价	160
(三) 其它相关因素对温室效应的影响和作用	170
1. 热带森林的大量破坏与地球温暖化的关系	170
2. 大气气溶胶浓度上升引起的负温室效应	174
3. “核冬天”	177
八、温室效应对全球气候的影响及其控制对策	179
(一) 温室效应对低层大气和地表升温及其幅度的研究和预测	179
1. 工业革命以来温室效应对全球变暖影响程度的观测和研究	179
2. 对未来全球变暖趋势的预测	183
(二) 地表和低层大气增温的后果	193
1. 海平面上升	193
2. 升温造成的全球降水量、蒸发量和土壤含水量的变化	197
(1) 降水量	197
(2) 蒸发量	199
(3) 土壤含水量	202
3. 温室效应将引起异常气候的增加	204
(1) 异常高温和低温	204
(2) 降水异常	205
(3) 其它异常气候和今后发展的预测	206
4. 全球温室效应对农业和森林的影响	208

(三) 减缓全球温室效应的对策	210
1. 控制化石燃料的使用, 减少 CO_2 的排放	210
2. 减少其它温室气体的排放	211
(1) 甲烷(CH_4)	212
(2) 一氧化二氮(N_2O)	212
(3) 氟氯烷烃(CFCI)	213
(4) 对流层 O_3	213
3. 大力植树造林, 保护森林资源	213
4. 加强国际间合作, 共同保护人类生存环境	214
(四) 温室效应对我国的影响以及适合我国国情的对策	215
1. 温室效应对我国的影响	215
(1) 气温	215
(2) 降水量	215
(3) 升温对我国未来发展的影响	217
2. 适应我国国情的对策	221
(1) 利用科技进步, 减缓 CO_2 的排放	221
(2) 大力植树造林, 减少森林砍伐, 保护并扩大森林资源	222
(3) 努力减少其它温室气体的排放	223
(4) 温室效应对农业影响的适应对策	223
(5) 加强地下水的管理, 防止沿海城市地面下沉	223
(6) 着眼未来, 加强有关温室效应的研究	223
九、加强研究和合作, 共同对付人类将面临的重大环境问题——温室效应	225

绪 论

地球与外层空间保持着能量和热量的交换，即地球吸收太阳辐射的热能，同时又以长波辐射的形式将热量辐射到太空，并保持着热量的平衡。地球的表层部分和大气共同构成了地球的气候系统。气候系统中各分量的物理状态，受地球接收和放射太阳辐射的能量的控制。当地球气候系统中某些因素的物理状态发生变化时，就可能破坏地球的热量平衡，并导致气候的变化。目前，受到人们广泛关注的温室效应问题就是上述作用的一个实证。

太阳辐射为短波辐射，最大能量在 600nm (纳米, 即 10^{-9} 米)；而地球辐射则为长波辐射，最大能量在 16000nm 。温室的玻璃可让 90% 以上的阳光通过，同时却可吸收 90% 波长大于 2000nm 的长波辐射，从而提高和保持室内的温度，故称温室效应。

大气中的二氧化碳 (CO_2) 和其它微量气体甲烷 (CH_4)、一氧化二氮 (N_2O)、臭氧 (O_3)、氟氯烷烃 (CFCs)、水蒸气 (H_2O) 等可以使短波几乎无衰减地通过，但这些气体在长波辐射的波段却有很强的吸收带，可以吸收长波辐射。因此，这些气体对气候有类似于温室玻璃的作用，故称上述气体为温室气体，由此产生的效应称为大气温室效应，简称为温室效应。

实际上，大气中早就存在 CO_2 ，因此温室效应早已存在。

如果不存在这一作用，实际地球表面平均温度将不是现在的 15°C ，而是 -18°C ，因而增高的 33°C 无疑是温室效应的结果。现在我们遇到的问题是，大气中温室气体增加，温室效应加强，因而导致全球气候变暖。所以，当今人们所研究的是温室效应增强的问题，但为了方便起见，仍称之为温室效应。

CO_2 是造成温室效应最重要的气体，这不仅因为 CO_2 在温室效应中影响最大，包括人类活动引起大气 CO_2 增加所造成的气候变暖作用，也远远超过其它温室气体的升温作用。研究表明，目前地表和大气温度上升，有70—80%是由于大气中 CO_2 增加所造成的。今后，虽然 CFCI 等温室气体所造成的增温作用会有所增大，但模式模拟表明，到下一世纪末， CO_2 增加造成的增温仍将占有效增温总数的50%左右，相当于其它温室气体的总和。

因此，本书将主要讨论大气中 CO_2 增加与温室效应的关系，同时兼论其它温室气体的作用和影响。

温室气体造成温室效应，而温室效应又会造成气候变暖，这是无可置疑的。但温室气体的增加究竟能在什么程度上加剧温室效应，其促进和制约因素又是如何发生作用的，这是一个极其复杂的问题。因此，只有全面系统地分析各扰动因素对温室效应的综合影响，才能得出正确的结论。

CO_2 在大气中的增加量不仅仅受控于人类活动向大气的排放量，还受到海洋、生物圈和岩石圈等圈层的制约。即使在大气中， CO_2 的浓度也存在着一定的时空变化。因而，如果不深入研究各圈层与 CO_2 的关系，就很难，甚至无法评价 CO_2 对温室效应的作用和贡献。因此，本书将从地球各圈层

与CO₂的关系出发，评价其与温室效应的关系，并使读者对温室效应形成机制以及对生态环境的影响和贡献有一个系统全面地认识和了解。

一、全球CO₂的循环和分布

(一) 地球CO₂的起源和变迁

前面已经指出，CO₂是影响全球大气层辐射和能量传输的主要气体，大气中CO₂浓度的变化又是控制和影响大气和地表温度的重要因子。系统观测结果表明，1850年以来，人类活动使大气中CO₂的浓度由280ppmv增加至目前的354ppmv。那么，地球上CO₂究竟是如何起源的，其后又是如何变迁的呢？弄清这一问题有助于后面的讨论。

表1-1给出了地球和邻近的两个行星金星和火星的大气组成状况。由表中可看到地球与金星和火星的大气组成存在着极大的差异。特别是CO₂，在地球的大气中仅占0.03%，而在金星和火星的大气中则分别占97%和95%。这一重大差别究竟是什么因素造成的呢？下面我们将加以系统的论述。

表 1-1 金星、地球和火星大气组成状况 (%)

	力 (10 ⁵ Pa)	表面 温度 (°C)	CO ₂	N ₂	Ar	O ₂	H ₂ O
金星	90	500	97	3	—	—	云下 1 000ppm 云上 100—1 ppm
地球	1	15	0.03	78.1	0.93	21.0	海水全蒸发 400 × 10 ⁵ Pa
火星	1/132	-60	95	2—3	1—2	0.1—0.3	冰冠

根据合理的假设和推断，地球上原始大气的主要化学组成如表 1-2 所示。它表明，地球(二次)原始大气中曾含有大量的 CO_2 ，其含量仅低于 H_2O ，而远高于 N_2 (氮) 等其它气体。

根据上述情况，表 1-2 地球(二次)原始大气的化学组成可知当地球的气温低于 374°C 时，二次原始大气中的水蒸气将变为液态的水。水中

成分	H_2O	CO_2	HCl	SO_2	N_2	H_2
质量 (10^{20}g)	16 300	1 800	340	48	44	37

溶入 HCl 气体，形成了 0.5M 左右的盐酸溶液，并构成地球最原始的海洋。在如此强的酸海中， CO_2 不能溶于水中，只能以气体形式存在于大气中。但其后由于 HCl 不断与岩石作用，溶出岩石中的阳离子，如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 等，因此海水酸度逐渐减弱，并趋于中性。此时，大气中的 CO_2 才溶于海水中。

溶于海洋中的 CO_2 可生成 CO_3^{2-} ， CO_3^{2-} 可与 Ca^{2+} 生成难溶于水的 CaCO_3 (碳酸钙) 并不断沉积。其后，大约在距今 38 亿年前，海洋中出现了低等生物，而在生物漫长的进化和发展过程中，又大量吸收海洋和大气中的 CO_2 ，并形成 CaCO_3 而沉积。生物化学的作用大大协同了海洋化学作用，因而使大气中 CO_2 不断减少，降至目前的浓度水平。

因此，可以说是海洋化学和生物的作用最终生成了大量的碳酸盐和有机碳化合物，它们广泛地存在于水圈和岩石圈中，并不断积累。也就是说，原始大气中曾有的高含量 CO_2 中的绝大部分都以固化或液化的形式移出大气圈，迁移到了其它圈层。

这一历史演变过程对人类的出现和进化是极其重要的。正是由于 CO_2 和 H_2O 等温室气体浓度不断减少，地球表面温度才得以不断下降到一个较为适宜的状态，因此生物和人类才能在我们这个地球上得以繁衍和发展。

从适应能力的角度来看，大气中 CO_2 的含量增加，即从0.03%增加至0.06%或更多，可能对人类本身并无太显著的影响。但是，现在人们所担忧的则是，大气中 CO_2 的升高将引起一系列的气候和生态环境效应，进而影响人类赖以生存的自然环境，从而对人类构成严重的威胁。

(二) 自然界C的循环和分布

1. 自然界C的源、汇及其通量

大量的观测结果（其中包括在南极冰盖空气中 CO_2 的测定）表明，在人类活动产生明显影响以前，自然界中的C（碳）保持着一定的分布和动态平衡，C的各个贮库也保持着相应的含量和流通。

图1-1略示了自然界C的主要贮库和各贮库间的流通。贮库中C的含量单位为 $10^{20}\text{g}(\text{C})$ ，通量单位为 $10^{17}\text{g}(\text{C})/\text{y}$ 。此图可以明确显示自然界C的源、汇和净通量。

由图中可发现，在人类活动影响之前，大气中 CO_2 有两个重要的源和两个重要的汇。

(1) 大气中 CO_2 两个重要的源

海洋是大气中 CO_2 最重要的一个源。根据大量观测可知，海水的循环作用可将中、高纬度含有较高浓度 CO_2 的海水带向低纬度地区并向大气中释放；而中、高纬度地区海水

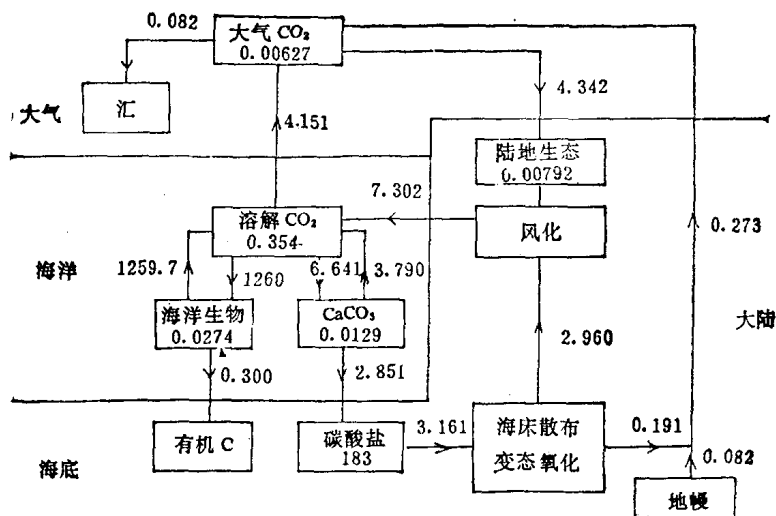


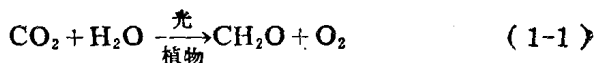
图 1-1 人类影响前自然界C的循环和分布

则因水温低、溶解度大而吸收大气中的 CO_2 。这一交换过程及其所达到的平衡主要受控于海洋表层和大气中 CO_2 的分压。据统计，全球平衡的结果是海洋向大气排放 CO_2 ，其平均净通量为 $4.151 \times 10^{17} \text{ g(C)}/\text{y}$ 。

地幔是大气中 CO_2 的另一个重要的源，通过火山喷发等地质活动，每年约有 $0.273 \times 10^{17} \text{ g(C)}$ 的 CO_2 由地幔直接进入大气。

(2) 大气中 CO_2 两个重要的汇

陆地生物系统是大气中 CO_2 一个重要的汇。其机制主要是陆地植物系统通过光合作用吸收大气中 CO_2 并形成有机机体。此过程可简单表示为：



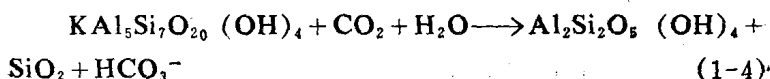
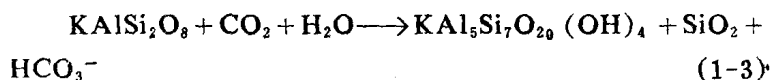
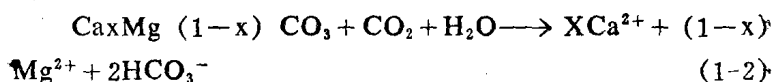
陆地生物系统与大气中 CO_2 交换的净通量为 4.342×10^{17} g(c)/y。

此外，大气中 CO_2 还存在另一个重要的汇。对于这个汇目前人们认识还相当少。它可能是地表碳酸盐吸收大气中的 CO_2 和水汽而发生风化作用，风化产物被降水等冲刷后随河流进入海洋。这种风化过程所吸收大气中 CO_2 的量至今尚无法定量得到，只能大致估计，因而有关这一方面的研究将是今后一个重要的课题。

自然界中C的最大贮库是地壳沉积物（其主要存在形式为碳酸盐和有机物化石）。虽然这一部分C并不直接参与大气 CO_2 的循环，但是它们可通过一定途径进入水体，并可随河水进入海洋，从而参与海洋中 CO_2 的循环和平衡，进而间接影响大气中 CO_2 的含量。

另外，陆地上生物的死亡腐烂还将 CO_2 输送到地表水和地下水中，使这些水体中的 CO_2 处于过饱和状态，从而大大加速与水直接接触的碳酸盐岩石的风化过程。

作用方程式如下：



这种风化过程的产物绝大部分可流入海洋，从而增加了