



环境保护知识丛书

温室效应

——沮丧？彷徨？希望？



赵天涛 张丽杰 赵由才 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

“十二五”国家重点图书

环境保护知识丛书

温 室 效 应

——沮丧？彷徨？希望？

赵天涛 张丽杰 赵由才 主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社

2012

内 容 提 要

本书旨在让广大读者了解当前温室效应的产生原因及其机理;了解人类活动所造成的温室气体排放对气候变化的巨大影响;了解如何通过温室气体控制与节能减排来减缓其对气候的影响;了解国际社会在温室气体减排作出努力所取得的成绩。全书图文并茂,栩栩如生,通俗易懂,贴近生活。向读者清晰地解释一些当今最重要的科学话题。

全书共分为6章。第1章介绍温室效应的概念,讨论了引起温室效应的原因,进而分析温室效应对气候变化、生态系统和人类生活的主要影响。第2章讨论温室气体的主要来源以及排放现状。第3章~第5章介绍了主要温室气体(二氧化碳、甲烷等)的减排办法。第6章从正反两个侧面讨论了气候变化的未来与对策。

本书是《环境保护知识丛书》中的一册。该丛书是一套具有科学性、知识性和实用性的科普读物,适合高中文化水平以上、对环境保护感兴趣、关心环保事业的人士或青少年学生课余兴趣阅读。

图书在版编目(CIP)数据

温室效应:沮丧?彷徨?希望?/赵天涛,张丽杰,赵由才主编.
—北京:冶金工业出版社,2012.7

(环境保护知识丛书)

“十二五”国家重点图书

ISBN 978-7-5024-5948-2

I. ①温… II. ①赵… ②张… ③赵… III. ①温室效应—研究
IV. ①X16

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第121386号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 程志宏 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5948-2

北京慧美印刷有限公司印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012年7月第1版,2012年7月第1次印刷

169mm×239mm;15印张;289千字;226页

32.00元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《环境保护知识丛书》

编辑委员会

主 任 赵由才

委 员 (以姓氏笔画为序)

马建立 王罗春 王金梅 刘 清 刘 涛

孙英杰 孙晓杰 张丽杰 张健君 张瑞娜

李广科 李良玉 李鸿江 杨淑芳 周 振

招国栋 赵天涛 唐 平 桑 楠 顾莹莹

崔亚伟 梁启斌 曾 彤 潘新潮

丛书序言

人类生活的地球正在遭受有史以来最为严重的环境威胁，包括陆海水体污染、全球气候暖化、疾病蔓延等。经相关媒体曝光，生活垃圾焚烧厂排放烟气对焚烧厂周边居民健康影响、饮用水水源污染造成大面积停水、全球气候变化导致的极端天气等，事实上都与环境污染有关。过去曾被人们认为对环境和人体无害的物质，如二氧化碳、甲烷等，现在被证实是造成环境问题的最大根源之一。

我国环境保护工作起步比较晚，对环境问题的认识也不够深入，环境保护措施和政策法规还不完善，导致我国环境事故频发。随着人们生活水平的不断提高，环境保护意识逐渐增强，民众迫切需要加强对环境保护知识的了解。长期以来，虽然出版了大量环境保护书籍，但绝大多数专业性很强，系统性较差，面向普通大众的环境保护科普读物却较少。

为了普及大众环境保护知识，提高环境保护意识，冶金工业出版社特组织编写了《环境保护知识丛书》。本丛书涵盖了环境保护的各个领域，包括传统的水、气、声、渣处理技术，也包括了土壤、生态保护、环境影响评价、环境工程监理、温室气体与全球气候变化等，适合于非环境科学与工程专业的企业家、管理人员、技术人员、大中专师生以及具有高中以上学历以上的环保爱好者阅读。

本丛书内容丰富，编写的过程中，编者参考了相关著作、论文、研究报告等，其出处已经尽可能在参考文献中列出，在此对文献的作者表示感谢。书中难免出现疏漏和错误，欢迎读者批评指正，以便再版时修改补充。

赵由才

2011年4月

早在 19 世纪 20 年代, 法国科学家 Jean Fouxier 就发现自然温室效应, 认为自然温室效应是地球能量系统平衡的重要组成部分。至 19 世纪末, 瑞典科学家阿伦纽斯 (Svante Arrhenius) 又提出了人为温室效应的可能性, 认为矿物燃料燃烧过程中所排放的二氧化碳将会带来气候变暖问题。但直至 70 年代末, 气候变暖问题才重又引起重视。在 1985 年由联合国环境规划署 (UNEP)、世界气象组织 (WMO)、国际科学联盟理事会 (ICSU) 共同召开的国际会议上, 对温室气体浓度增加将引致全球平均温度上升的观点得到基本接受, 并成为国际社会的热点之一。

20 世纪的最后 10 年是该世纪最暖的 10 年, 而 20 世纪则是千年来最暖的世纪。究其原因, 是我们释放了太多的温室气体。每当大气中二氧化碳浓度增加 1 倍时, 气温会上升 $4 \sim 6^{\circ}\text{C}$ 。全球气候变暖这一不争的事实说明温室气体的减排已刻不容缓, 而温室气体减排也顺其自然地成了环境领域新技术发展的主流方向与目标。

本书被列入《环境保护知识丛书》就是在上述背景下产生的, 旨在让广大读者了解当前温室效应的产生原因以及产生机理; 了解人为活动所造成的温室气体排放情况以及对气候变化的巨大影响; 了解如何通过温室气体控制与节能减排来减缓其对气候的影响; 了解国际社会在温室气体减排所作的努力以及所取得的成绩。丛书通过栩栩如生的图例与专业而通俗易懂的文字相结合, 向读者更清晰地解释了当今最重要的科学话题。

全书共分为 6 章。第 1 章介绍温室效应的概念, 讨论了引起温室效应的原因, 进而分析温室效应对气候变化、生态系统和人类生活的主要影响。第 2 章主要讨论了温室气体的主要来源以及排放现状。第 3 章~第 5 章介绍了主要温室气体 (二氧化碳、甲烷等) 的减排办法。第 6 章从正反两个侧面讨论了气候变化的未来与对策。



前 言

本书由赵天涛、张丽杰、赵由才担任主编，第1章由张丽杰、赵天涛编写；第2章由赵天涛、全学军、赵由才编写；第3章由陈忠敏和张丽杰编写；第4章由赵天涛、赵由才、李军编写；第5章由张丽杰和赵天涛编写，第6章由徐雨龙和赵天涛编写。赵由才教授负责全书的统编工作。

限于编者水平和时间有限，书中不足和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2012 年 1 月

第 1 章 温室效应	1
1.1 什么是温室效应	1
1.1.1 一些基本概念	1
1.1.2 温室效应产生的原理	2
1.1.3 温室效应与温室气体	4
1.1.4 温室气体特征与人类活动	6
1.2 温室效应与臭氧层	11
1.3 碳与碳循环	12
1.3.1 碳库	14
1.3.2 碳循环	17
1.3.3 碳源和碳汇	19
1.3.4 失踪的碳汇与土壤碳库	21
第 2 章 温室气体的来源	24
2.1 能源来源	25
2.1.1 化石燃料开发利用对环境的影响	25
2.1.2 可再生能源开发利用对环境的影响	27
2.1.3 核燃料开发利用对环境的影响	28
2.2 交通来源	29
2.2.1 世界交通业发展概况	29
2.2.2 交通领域温室气体排放对全球气候的影响	29
2.2.3 交通工具消耗的能源类型	30
2.2.4 交通领域温室气体的来源	31
2.2.5 汽车空调制冷剂	33
2.3 工业来源	33
2.3.1 钢铁工业温室气体排放情况	33
2.3.2 水泥工业中温室气体的排放	35



目 录

2.3.3 建材工业中温室气体的排放	36
2.3.4 化学工业中温室气体的排放	36
2.4 农业来源	37
2.4.1 稻田生态系统主要温室气体的排放机理及排放规律研究	37
2.4.2 旱田生态系统温室气体的排放	40
2.4.3 农业生产废弃物	44
2.4.4 反刍动物甲烷排放	44
2.4.5 湿地生态系统中碳的动态规律和温室气体排放	46
2.5 废物来源	56
2.5.1 污水处理与温室气体的产生	56
2.5.2 固体废物处理与温室气体的产生	59
第3章 减缓二氧化碳排放的办法	62
3.1 二氧化碳的捕获和封存技术	62
3.1.1 CCS 概况	62
3.1.2 地质封存	65
3.1.3 海洋封存	68
3.2 二氧化碳的能源转化技术	73
3.2.1 利用太阳能实现二氧化碳的循环使用	73
3.2.2 绿色催化实现二氧化碳的循环使用	75
3.2.3 生物技术实现二氧化碳的循环使用	78
3.3 基于清洁生产的二氧化碳减排	81
3.3.1 主要工业部门的节能措施	81
3.3.2 燃烧技术与节能	91
3.3.3 锅炉节能	95
第4章 减缓甲烷排放的办法	103
4.1 和温室气体有关的微生物	103
4.1.1 产甲烷的微生物	103
4.1.2 可以氧化甲烷的微生物	107
4.2 甲烷的生物抑制	114
4.2.1 产甲烷菌抑制机理	114
4.2.2 常见甲烷抑制剂	115



4.2.3 甲烷生物抑制的应用	118
4.3 甲烷的生物氧化及应用	123
4.3.1 影响甲烷氧化菌在土壤中活性的主要因素	123
4.3.2 填埋场甲烷氧化覆盖层研究与应用	126
4.4 其他甲烷回收与利用技术	128
4.4.1 填埋气利用技术	128
4.4.2 餐厨垃圾厌氧发酵	131
4.4.3 油气系统甲烷排放源及减排技术	133
4.4.4 甲烷市场化节能减排新途径	135
第5章 其他温室气体的减排	137
5.1 氟利昂的减排	137
5.1.1 国际及国内对环境保护的相关协定及法规	138
5.1.2 加快替代技术的应用和研究	139
5.1.3 氟利昂的回收和再生	140
5.1.4 氟利昂的分解技术	140
5.1.5 燃烧法处理氟利昂	141
5.2 氧化亚氮的减排	141
5.2.1 农田土壤造成的 N_2O 的减排及控制	142
5.2.2 移动源燃烧造成的 N_2O 的排放	142
5.2.3 废水脱氮过程中 N_2O 的产生和控制	144
5.2.4 污泥焚烧过程 NO_x 的控制与抑制技术	149
5.3 二氧化硫的减排	150
5.3.1 我国控制 SO_2 排放的相关政策、法律、法规及标准	151
5.3.2 我国燃煤烟气脱硫的技术现状	154
5.3.3 洁净煤技术	156
第6章 维持温度的和平：气候变化的未来与对策	163
6.1 温室效应带来的影响	163
6.1.1 气候的变化	163
6.1.2 陆地的变化	170
6.1.3 海洋的变化	172
6.1.4 气候变化对中国的影响	173



6.2 气候变化的应对措施	174
6.2.1 联合国气候变化框架公约	174
6.2.2 京都议定书	177
6.2.3 联合国气候变化峰会	179
6.2.4 政府间气候变化专门委员会	181
6.2.5 清洁发展机制 (CDM)	183
6.2.6 林业与清洁发展机制	190
6.2.7 我国工业领域的清洁发展机制	193
6.2.8 遏制气候变暖：我国采取的行动	197
6.2.9 遏制气候变暖：我们的行动	207
6.3 全球气候变暖的争议	212
6.3.1 自然因素导致全球气候变化的主要假说	212
6.3.2 全球气候变化与自然规律	215
参考文献	219

第 1 章 温室效应

谈到“温室效应”（Greenhouse Effect），很多人的第一感觉是彷徨和恐惧，觉得它对人类是威胁。但实际上“温室效应”并不是新鲜事物，它是地球大气层具有的一种物理特性。如果没有自然温室效应来聚焦太阳能，地球表面的平均温度将不是现在的 15°C ，而只有零下 6°C 。

1.1 什么是温室效应

1.1.1 一些基本概念

在认识温室效应以及温室气体之前，我们首先要了解描述这些问题的一些基本概念。

1.1.1.1 源与汇

源是指环境中物质来源的位置或过程（包括物理与化学等过程），物质由源产生的强度称为源强；汇是指环境中物质去除的位置或过程，物质由汇去除的强度称为汇强。针对温室气体而言，产生温室气体的位置或过程就是温室气体的源，反之为汇。在后面的介绍中，我们会经常用到这两个概念。譬如，生活垃圾填埋场就是甲烷的源，而火力发电厂就是二氧化碳的源。我们通常把源分为自然源与人为源，自然源是指没有人为活动影响而产生物质的来源，湿地是甲烷的自然源之一；人为源是指由于人类活动而产生物质的来源，水稻田是甲烷的人为源之一。温室气体的人为源往往具有强度大、危害大等特点，因此也成为温室气体减排工作的重点。

1.1.1.2 全球增温潜势

政府间气候变化专业委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）在 1990 年的报告中给出了全球增温潜势（Global Warming Potential, GWP）的概念。GWP 是反映温室气体对地球变暖作用的相对强度，定义为某一单位质量的温室气体在一定时间内相对于二氧化碳的累积辐射力（辐射力是由于太阳或红外线辐射分量的转变而引起对流层顶部的平均辐射改变，辐射力影响了地球吸收辐射和释放辐射间的平衡，正辐射力会使地球表面变暖，负辐射力使地球表面变凉）。一些气体的全球增温潜势具有较大的不确定性，尤其是那些没有详细寿命测量值的气体；某些气体来源于间接辐射反馈的间接全球增温潜势，其



中包括 CO。具有准确大气寿命值的气体的直接全球增温潜势的误差估计大约在 $\pm 35\%$ ，而间接全球增温潜势则更加不确定。

1.1.1.3 温室气体的描述

温室气体在大气中的含量一般都非常低，国际常用的浓度单位用 ppm 或 ppb 表示。ppm (parts per million) 是溶液浓度的一种表示方法，即 10^{-6} 或 $10^{-4}\%$ 。对于溶液而言，当 1L 水溶液中有 1/1000mL 的溶质，则溶质浓度为 1ppm；对于气体而言，一百万体积的空气中所含污染物 1 体积，即 1ppm。ppb (parts per billion) 是比 ppm 更小的浓度单位，指 10^{-9} 或 $10^{-7}\%$ ，亦即 ppm 的千分之一。目前按我们国家标准规范，特别是环保部门，要求气体浓度以质量浓度的单位，即以 mg/m^3 表示。

虽然温室气体的浓度很低，但在大气层的尺度上（大气的总质量据估算约为 $5.3 \times 10^{18} \text{kg}$ ），其总量却是巨大的。由于各种温室气体的含碳量不尽相同，一般都统一折算为总碳量来描述，所用的单位一些文献使用 Pg (10^{15} 克)，但标准单位有 Tkg (10^{12} 千克) 或 Gt (10^9 吨)。

1.1.2 温室效应产生的原理

大气中温室气体的增温效应最早是由法国数学家傅里叶 (Jean-Baptiste Fourier) 于 1827 年提出的，他认为大气中和玻璃温室内的环境条件非常相似，这也是温室效应得名的原因。1860 年前后英国科学家丁达尔 (John Tyndall) 测出了二氧化碳和水汽对红外辐射的吸收率，他还大胆猜测，冰期的形成可能与大气中二氧化碳含量减弱有关。1896 年瑞典化学家阿伦纽斯 (Svante Arrhenius) 计算了温室气体浓度增加的作用结果，大气中二氧化碳浓度增加一倍将使地球的平均气温升高 $5 \sim 6^\circ\text{C}$ ，虽然该结果是一百多年前得到的，但已经很接近当今科学估算的结果了。近几十年来，全球气温的升高引起了各方人士的密切关注，通过各种方法，如气象观测证据、冰芯记录、树木年轮学证据、遥感证据等为全球变暖的趋势提供了有力证据。

自然界的一切物体都以电磁波的方式向周围放射能量，这种传播能量的方式称为辐射，通过辐射传播的能量称辐射能，它是太阳能传输到地球的唯一途径，是地球和大气最重要的能量来源。任何物体对辐射都有吸收、反射和透射作用，地球表面和大气也一样。通常，人们把大气上界垂直于太阳光线的 1cm^2 面积内 1min 获得的太阳辐射能称为太阳常数，一般为 $1370\text{W}/\text{m}^2$ 。

太阳辐射光经过大气圈到达地面后，地球表面获得的太阳辐射强度比太阳常数小。这是因为在这个过程中经过了大气的削弱作用，使得透射到大气中的太阳辐射不能完全达到地面。大气云层对太阳辐射的削弱体现在吸收、反射和散射上，反射是指把太阳辐射中的一部分能量反射回宇宙空间；散射不能把辐射转变



为热能，只是改变了辐射的方向，使太阳辐射以质点为中心四面八方传播。大气中吸收太阳辐射的成分主要有水汽、氧、臭氧、二氧化碳、甲烷以及固体杂质等，它们可选择吸收一定波长的辐射能。太阳辐射被它们吸收后转变成热能，使太阳辐射受到削弱。

在这三种作用中，反射作用最重要，散射次之，吸收作用相对最小。达到地面的太阳辐射分为两部分，一部分直接辐射到地面称为直接辐射；一部分经过散射后自天空投射到地面称为散射辐射，两者之和称为总辐射，这也是地面得到的全部太阳辐射能量。但投射到地面的太阳辐射，也并非完全被地面吸收，其中一部分被反射回太空中。地面吸收了太阳的短波辐射后被加热，于是不断地向外发出长波辐射。大气对太阳的短波辐射几乎透明、吸收很少，像大气中的二氧化碳对太阳短波辐射的吸收基本可以忽略不计；但其对地面的长波辐射却可强烈吸收，于是大部分的太阳辐射可以直接到达地面并对地面加热。由于地面发出的长波辐射被二氧化碳、氧化亚氮、甲烷等温室气体大量吸收，使得地面的辐射不至于大量损失到太空中去。

地球就像一个大的“玻璃暖房”，不过它是由大气层覆盖的。大气层像玻璃一样能够很好地透光，但不透热。暖房里面的太阳光部分被反射或吸收转变为热量或长波辐射（红外线辐射），这些能量被聚集起来，使整个温室内温度升高。比如晴天，温室内的温度要比温室外高 20°C ，这并不是因为直接吸收了太阳热，而是因为吸收的太阳光能被最终转化为热量。

温室效应原理如图 1-1 所示。

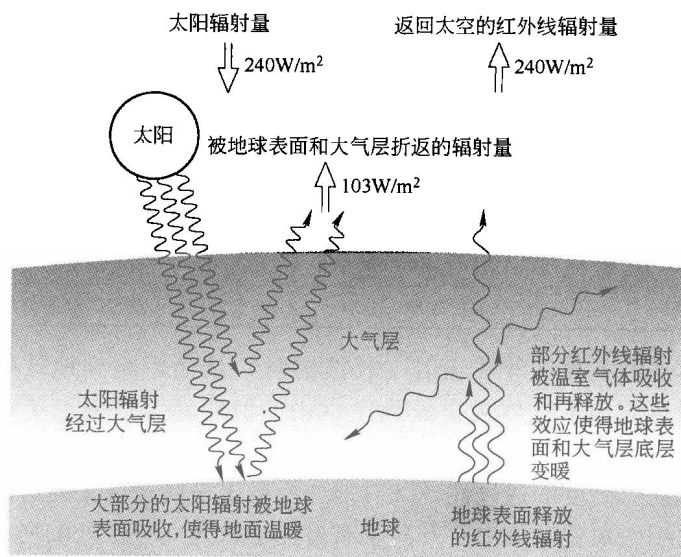


图 1-1 温室效应原理



1.1.3 温室效应与温室气体

想要了解温室效应，首先要了解大气层。大气层（atmosphere）又叫大气圈，地球就是被这一层很厚的大气层包围着。大气层的成分主要有氮气，占78.1%；氧气占20.9%；氩气占0.93%；还有少量的二氧化碳、稀有气体（氦气、氖气、氩气、氪气、氙气、氡气）和水蒸气。大气层的空气密度随高度而减小，越高空气越稀薄。大气层的厚度大约在1000km以上，但没有明显的界线。整个大气层随高度不同表现出不同的特点，分为对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层（图1-2，表1-1），再上面就是星际空间了。

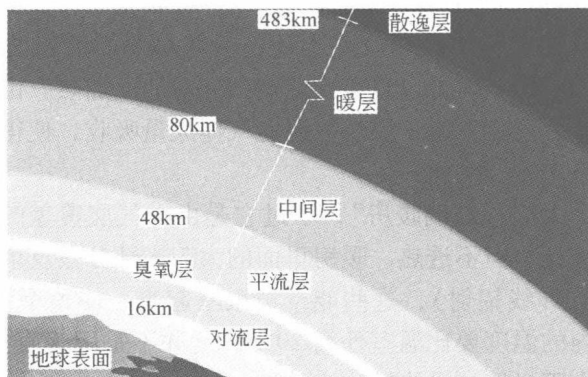


图 1-2 大气垂直分层示意图

表 1-1 温室气体的特征及全球增温潜能

层 序	高度/km	温度分布变化
对流层	0 ~ 17	随着高度的增加而降低
平流层	17 ~ 50	随着高度的增加而升高
中间层	50 ~ 80	随着高度的增加而降低
暖 层	80 ~ 500	随着高度的增加而升高
散逸层	500 ~ 1000	随着高度的增加而升高

温室气体通过吸收红外线辐射（长波辐射）从而影响到地球整体的能量平衡，当大量吸热的温室气体被排放到空气中，地球就像被裹上了一层厚厚的毯子。二氧化碳虽然仅占大气组成的千分之三，却是一种有效的温室气体，对来自太阳的短波辐射有高度的透过性，又对地球反射出来的长波辐射有高度的吸收能力，因此大气中二氧化碳的浓度升高就有可能导致大气层低处的对流层变暖。常见的温室气体除二氧化碳以外还有甲烷（CH₄）、臭氧（O₃）、一氧化二氮（N₂O）、全氟碳化物（PFCs）、氢氟碳化物（HFCs）、含氯氟烃（HCFCs）及六



氟化硫 (SF_6) 等。其中, 臭氧比较特殊, 当臭氧处在大气层较低的部位 (对流层和同温层的下部) 时, 它是一种温室气体; 而处于同温层的上部 (此处有一层臭氧层) 时, 它可以吸收太阳光中的紫外线。对流层中的臭氧是仅次于二氧化碳和甲烷的温室气体, 它是光化学的产物, 丰度受甲烷 (CH_4)、一氧化碳 (CO)、氮氧化物 (NO_x) 和挥发性有机物 (VOC) 的排放量所控制, 若甲烷的丰度增加一倍, 或一氧化碳和氮氧化物增加三倍的话, 对流层中臭氧的丰度将增加一半。

各种温室气体对地球的能量平衡影响程度并不相同, 为了帮助人们比较各种温室气体对地球变暖的影响, 表 1-2 列出 IPCC 报告中的一些温室气体的全球增温潜能 (GWP)。对气候变化的影响来讲, GWP 已经考虑到各温室气体在大气层中的存留时间以及其吸收辐射的能力。计算 GWP 时需要了解各温室气体在大气层中的演变情况和它们在大气层的余量所产生的辐射力。因此, GWP 含有一些不确定因素, 以 CO_2 作为相对比较, 一般误差约在 $\pm 35\%$ 。

表 1-2 温室气体的特征及全球增温潜能

温室气体种类		留存期/年	全球增温潜能		
			20 年	100 年	500 年
二氧化碳 (CO_2)		未能确定	1	1	1
甲烷 (CH_4)		12	62	21	7
一氧化二氮 (N_2O)		114	275	296	156
氯氟碳化合物 (CFCs)	CFCl_3 (CFC-11)	45	6300	4600	1600
	CF_2Cl_2 (CFC-12)	100	10200	10600	5200
	CClF_3 (CFC-13)	640	10000	14000	16300
	$\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$ (CFC-113)	85	6100	6000	2700
	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$ (CFC-114)	300	7500	9800	8700
	$\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$ (CFC-115)	1700	4900	7200	9900

注: 排放 1kg 该种温室气体相对于 1kg CO_2 所产生的温室效应 (数据来自政府间气候变化专门委员会第三份评估报告, 2001)。

从表 1-2 可以看出在百年的时间尺度上单位质量 CH_4 和 N_2O 的 GWP 分别是 CO_2 的 21 倍和 296 倍, 而氯氟碳化合物 (CFCs) 的 GWP 则更加巨大, 达到了 4600 ~ 14000。有些温室气体随着时间的增加, GWP 越来越低, 比如甲烷和一氧化二氮等; 而另外一些却有相反的趋势, 如 $\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$ 则随着时间的增加, GWP 越来越强。

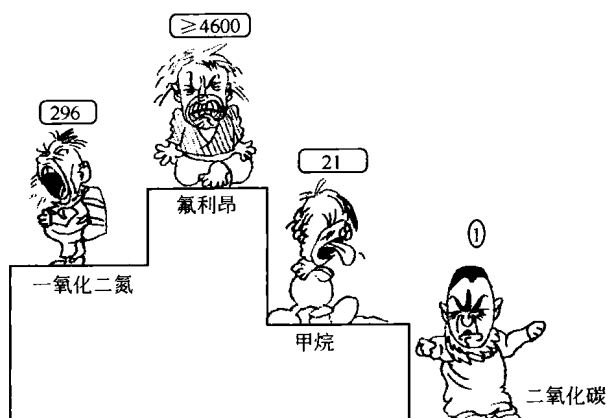


图 1-3 百年尺度上温室气体增温潜势排行

直接受人类活动影响的几种温室气体中， CO_2 、 CH_4 和 N_2O 被认为是最重要的温室气体。其中 CO_2 是数量最多，对增强温室效应贡献最大的气体，其目前的排放量对全球变暖的贡献率超过 50%，它产生的增温效应占所有温室气体总增温效应的 63%，在大气中存留时间最长可达约两百年；其次是 CH_4 ，贡献率约为 19%；再其次是 N_2O ，贡献率约为 4%。

研究表明，大气中 CH_4 的丰度不断增加，从 1978 年的 $1520 \times 10^{-7}\%$ 增加到 1998 年的 $1745 \times 10^{-7}\%$ 。然而，最近二十多年的观测结果表明： CH_4 每年的增加速率在降低。大气中 CH_4 的增加具有很大的不确定性，比如 1992 年的增加量近乎为零，而 1998 年竟然增加了 $13 \times 10^{-7}\%$ ，对这种不确定性还没有定量的解释。大气中的 N_2O 在以每年 0.25% 的速度增加。

IPCC 利用复杂的气候模式估计：因 CO_2 和其他温室气体浓度增加的共同作用将会导致全球平均气温每 10 年上升 0.2°C 。在过去的一个半世纪中全球表面温度上升了 $(0.6 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ ，20 世纪是过去千年以来最暖的世纪。IPCC 在第三份评估报告中估计全球的地面平均气温将会在 2100 年上升 $1.4 \sim 5.8^\circ\text{C}$ 。这个估计已考虑到大气层中悬浮粒子倾向于对地球气候降温的效应以及海洋吸收热能的作用（海洋有较大的热容量），但是，还有很多未确定的因素会影响这一推算结果，例如：未来温室气体排放量的预计、对气候调整的各种反馈作用和海洋吸热的幅度等。

1.1.4 温室气体特征与人类活动

这里我们主要讨论几种最重要的受人类活动影响最大的温室气体： CO_2 、 CH_4 、 N_2O 以及 CFCs 等。表 1-3 列出了几种主要温室气体的特性。