



全球变化热门话题丛书

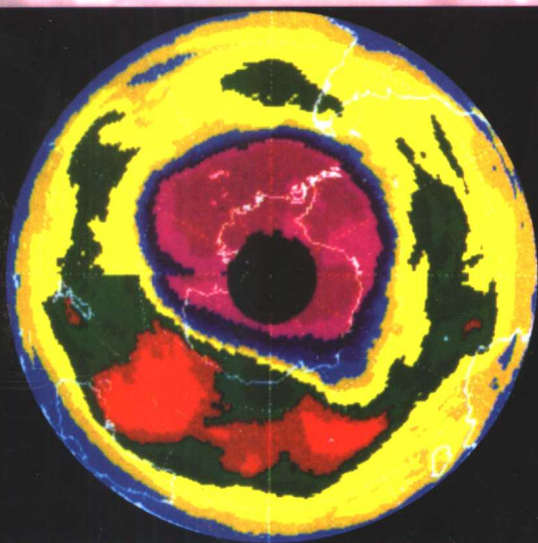
主编 秦大河

大气臭氧层 和臭氧洞

GLOBAL CHANGE



王庚辰 编著



33

气象出版社



环境科学出版社

主 编 秦大河
副主编 丁一汇 毛耀顺

大气臭氧层 和臭氧洞

Daqi Chouyangceng he Chouyangdong

王庚辰 编著

科学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大气臭氧层和臭氧洞/王庚辰编著. —北京:气象出版社,2003.3

(全球变化热门话题/秦大河主编)

ISBN 7-5029-3555-X

I. 大... II. 王... III. 臭氧层-普及读物
IV. P421.33-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 016891 号

气象出版社出版

(北京市中关村南大街46号 邮编:100081)

责任编辑:李太宇 俞卫平 终审:周诗健

封面设计:新视窗工作室 责任技编:都平 责任校对:解丽

*

北京京科印刷有限公司印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本:889×1194 1/32 印张:6.25 字数:158千字

2003年3月第一版 2003年3月第一次印刷

印数:1~5000 定价:15.00元

序 言

全球变化科学是从 20 世纪 80 年代发展起来的一个新兴的科学领域。其研究对象是气候系统(包括岩石圈、大气圈、水圈、冰冻圈和生物圈)、各子系统内部以及各子系统之间的相互作用。它的科学目标是描述和理解人类赖以生存的气候系统运行的机制、变化规律以及人类活动在其中所起的作用与影响,从而提高对未来环境变化及其对人类社会发展的影响的预测和评估能力。近 20 年来,全球变化的研究方向经历了重大调整。首先是从认识气候系统基本规律的纯基础研究为主,发展到与人类社会可持续发展密切相关的一系列生存环境实际问题的研究;其次是从研究人类活动对环境变化的影响,扩展到研究人类如何适应和减缓全球环境的变化。全球变化的研究已经取得了重大的进展。

气候变化是全球变化研究的核心问题和重要内容。科学研究表明,近百年来,地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化。近 50 年的气候变暖主要是人类使用矿物燃料排放的大量二氧化碳等温室气体的增温效应造成的。现有的预测表明,未来 50~100 年全球的气候将继续向变暖的方向发展。这一增温对全球自然生态系统和各国社会经济已经产生并将继续产生重大而深刻的影响,使人类的生存和发展面临巨大挑战。

自工业革命(1750 年)以来,大气中温室气体浓度明显增加。大气中二氧化碳的浓度目前已达到 368 ppmv(百万分之一体积),这可能是过去 42 万年中的最高值。增强的温室效应使得自 1860 年有气象仪器观测记录以来,全球平均温度升高了 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。

最暖的 14 个年份均出现在 1983 年以后。20 世纪北半球温度的增幅可能是过去 1 000 年中最高的。降水分布也发生了变化。大陆地区尤其是中高纬地区降水增加,非洲等一些地区降水减少。有些地区极端天气气候事件(厄尔尼诺、干旱、洪涝、雷暴、冰雹、风暴、高温天气和沙尘暴等)的出现频率与强度增加。近百年我国气候也在变暖,气温上升了 $0.4\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,以冬季和西北、华北、东北最为明显。1985 年以来,我国已连续出现了 17 个全国大范围暖冬。降水自 20 世纪 50 年代以后逐渐减少,华北地区出现了暖干化趋势。

对于未来 100 年的全球气候变化,国内外科学家也进行了预测。结果表明:(1)到 2100 年时,地球平均地表气温将比 1990 年上升 $1.4\sim 5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这一增温值将是 20 世纪内增温值($0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右)的 2~10 倍,可能是近 10 000 年中增温最显著的速率。21 世纪全球平均降水将会增加,北半球雪盖和海冰范围将进一步缩小。到 2100 年时,全球平均海平面将比 1990 年上升 $0.09\sim 0.88\text{ m}$ 。一些极端事件(如高温天气、强降水、热带气旋强风等)发生的频率会增加。(2)我国气候将继续变暖。到 2020~2030 年,全国平均气温将上升 $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$;到 2050 年,全国平均气温将上升 $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。我国气候变暖的幅度由南向北增加。不少地区降水出现增加趋势,但华北和东北南部等一些地区将出现继续变干的趋势。

气候变化的影响是多尺度、全方位、多层次的,正面和负面影响并存,但它的负面影响更受关注。全球气候变暖对全球许多地区的自然生态系统已经产生了影响,如海平面升高、冰川退缩、湖泊水位下降、湖泊面积萎缩、冻土融化、河(湖)冰迟冻与早融、中高纬生长季节延长、动植物分布范围向极区和高海拔区延伸、某些动植物数量减少、一些植物开花期提前等等。自然生态系统由于适应能力有限,容易受到严重的、甚至不可恢复的破坏。正面临这种危险的系统包括:冰川、珊瑚礁岛、红树林、热带雨林、极地和高山生态系统、草原湿地、残余天然草地和海岸带生态系统等。随着气候变化频率和幅度的增加,遭受破坏的自然生态系统在数目上会有所

增加,其地理范围也将增加。

气候变化对国民经济的影响可能以负面为主。农业可能是对气候变化反应最为敏感的部门之一。气候变化将使我国未来农业生产的不稳定性增加,产量波动大;农业生产布局和结构将出现变动;农业生产条件改变,农业成本和投资大幅度增加。气候变暖将导致地表径流、旱涝灾害频率和一些地区的水质等发生变化,特别是水资源供需矛盾将更为突出。对气候变化敏感的传染性疾病(如疟疾和登革热)的传播范围可能增加;与高温热浪天气有关的疾病和死亡率增加。气候变化将影响人类居住环境,尤其是江河流域和海岸带低地地区以及迅速发展的城镇,最直接的威胁是洪涝和山体滑坡。人类目前所面临的水和能源短缺、垃圾处理和交通等环境问题,也可能因高温、多雨而加剧。

由于全球增暖将导致地球气候系统的深刻变化,使人类与生态环境系统之间业已建立起来的相互适应关系受到显著影响和扰动,因此全球变化特别是气候变化问题得到各国政府与公众的极大关注。

1979年的第一次世界气候大会(主要由科学家参加)宣言提出:如果大气中的二氧化碳含量今后仍像现在这样不断增加,则气温的上升到20世纪末将达到可测量的程度,到21世纪中叶将会出现显著的增温现象。1990年11月,第二次世界气候大会(由科学家和部长参加)通过了《科学技术会议声明》和《部长宣言》,认为已有一些技术上可行、经济上有效的方法,可供各国减少二氧化碳的排放,并提出制定气候变化公约的问题。1991年2月联合国组成气候公约谈判工作组,并于1992年5月完成了公约的谈判工作。1992年6月联合国环境与发展大会期间,153个国家和区域一体化组织正式签署了《联合国气候变化框架公约》。1994年3月21日公约正式生效。截止到2001年12月共有187个国家和区域一体化组织成为缔约方。公约缔约方第一次大会于1995年3月在德国柏林召开。经过两年的艰苦谈判,1997年12月在日本京都召开

的公约第三次缔约方大会上通过了《京都议定书》，为发达国家规定了到 2008~2012 年的具体的温室气体减排义务。

1988 年 11 月世界气象组织和联合国环境规划署建立了“政府间气候变化专门委员会(IPCC)”，其主要任务是定期对气候变化科学知识的现状、气候变化对社会和经济的潜在影响，以及适应和减缓气候变化的可能对策进行评估，为各国政府和国际社会提供权威的科学信息。自成立以来，IPCC 已组织世界上数以千计的不同领域的科学家完成了三次评估报告及“综合报告”。目前，IPCC 正在准备编写第四次评估报告，将于 2007 年完成。此外，还组织编写了许多特别报告、技术报告。IPCC 组织编写的这些评估报告，作为制定气候变化政策和对策的科学依据提交给国际社会和各国政府。它不仅为各国政府部门制定气候变化对策提供了科学信息，而且也直接影响着《联合国气候变化框架公约》及《京都议定书》的实施进程，并在荒漠化、湿地等其他国际环境公约的活动中发挥着越来越大的作用。

全球气候变化问题，不仅是科学问题、环境问题，而且是能源问题、经济问题和政治问题。全球气候变化问题将给我国带来许多挑战、压力和机遇。

国际上要求我国减排温室气体的压力越来越大。目前我国二氧化碳排放量已位居世界第二，甲烷、氧化亚氮等温室气体的排放量也居世界前列。预测表明，到 2025~2030 年间，我国的二氧化碳排放总量很可能超过美国，居世界第一位；目前低于世界平均水平的我国人均二氧化碳排放量可能达到世界平均水平。由于技术和设备相对落后、陈旧，能源消费强度大，我国单位国内生产总值的温室气体排放量比较高。

我国减排温室气体的潜力受到能源结构、技术和资金的制约。煤是我国的主要能源，在我国一次能源消费中，煤炭约占 70%。受能源结构的制约，我国通过调整能源结构来减少二氧化碳排放量的潜力有限。如果近期就承担温室气体控制义务，我国的能源供应

将受到制约。同时,因缺少相应的技术支撑,我国的经济发展将受到严重影响。因此,我国的能源结构和减排成本决定了我国不可能过早地承诺减排义务。在相当一段时期内,我国应坚持“节约能源、优化能源结构、提高能源利用效率”的能源政策,但是需要相当的技术和资金作为保证。目前发达国家希望通过“清洁发展机制(CDM)”项目,从发展中国家获得减排抵消额。这将为发展中国家获得新的投资和技术转让带来机遇。

我国党和政府对气候变化问题一直非常重视,早在1986年就成立了国家气候委员会,其职责是参加国际有关组织相应的活动,并在开展气候研究、预报、服务等工作中,负责对外的国际合作、交流,对内起到组织协调的作用,并与各有关部门共同协商、配合工作,充分发挥各有关单位的积极性,使气候科学更好地为国家建设服务。1995年成立了国家气候中心,专门从事气候监测、预测和评价等工作,为我国经济建设和社会发展提供了卓有成效的服务。目前,气候变化与生态环境问题已引起党和政府的高度关注。但是总体来看,迄今为止我国还未把适应与减缓气候变化影响的问题真正提上议事日程,这方面的研究仍十分薄弱和不足。由于全球气候变暖可能给我国自然生态系统和社会经济部门带来难以承受的、不可逆转的、持久的严重影响。因此,应对全球气候变暖的影响,趋利避害,应成为我国实施可持续发展时必须重视的问题之一。需要全面深入研究气候变化对我国自然生态系统和国民经济各部门的影响后果、可采取的适应与减缓措施,并在对其进行成本-效益分析的基础上,提出我国适应与减缓气候变化影响的规划和行动计划。

为了宣传和普及气候和气候变化方面的科学知识,提高公众在全球变化问题上的科学认识,我们组织编撰出版这套《全球变化热门话题》丛书。本套丛书一共18册,由国内相关领域的知名专家撰稿,内容包括以下三方面:一是以大量监测数据为基础,揭示全球变化的若干事实及其在各个分系统中的表现形式;二是以太阳

辐射、大气化学、大气物理、环境和生态演变等多学科交叉理论为基础,深入浅出地阐述气候变化的成因;三是以可持续发展理论为指导,提出人类适应和减缓全球变化的各种对策、途径和方法。该丛书的出版,旨在使人们对全球变化有清醒而全面的科学认识,从而更加关注全球变化,并且在更高的层次上、更广泛的范围内认识我国在全球变化中的地位和作用,自觉参与人类社会的共同决策,保护人类赖以生存的地球环境。

国家气候委员会主任
中国气象局局长

A large, bold, handwritten signature in black ink, reading '秦大河' (Qin Dajun).

2003年3月23日

目 录

第一章 大气臭氧层	(1)
臭氧和大气臭氧层	(1)
臭氧的发现	(2)
大气中的臭氧及其他组分	(4)
大气分层和大气臭氧层的形成	(8)
大气臭氧层和大气平流层	(14)
地球生灵的天然保护伞	(17)
太阳和太阳紫外线	(17)
大气臭氧对紫外线的吸收	(20)
臭氧层保护着地球上的生灵	(21)
臭氧在大气中的分布和变化	(23)
大气中的臭氧总量及其变化	(23)
大气中的臭氧随高度的变化	(25)
臭氧时空变化的缘由	(29)
大气臭氧和天气气候变化	(30)
臭氧是一种温室气体	(30)
大气臭氧和天气过程	(31)
大气臭氧和气候变化	(34)
第二章 低层大气中的臭氧	(36)
对流层中的臭氧	(36)
对流层中臭氧的来源和消失	(36)

2 · 大气臭氧层和臭氧洞

对流层与平流层之间的臭氧交换	(40)
对流层臭氧的变化	(42)
大气边界层中臭氧的变化	(44)
臭氧的时间和空间变化	(44)
人类活动对近地层臭氧的影响	(47)
近地面臭氧浓度的变化	(49)
近地层大气中臭氧变化对人与环境的影响	(50)
对空气质量的影响	(50)
对人体健康的影响	(52)
对生态系统的影响	(55)
第三章 大气臭氧层的探测	(60)
大气臭氧总量的探测	(60)
地基探测技术	(60)
全球大气臭氧监测网	(70)
全球大气臭氧观测资料	(71)
大气臭氧空间分布的探测	(73)
大气臭氧的气球探测	(73)
大气臭氧的激光雷达探测	(81)
大气臭氧的卫星探测	(82)
大气臭氧的近地面测量	(85)
臭氧浓度的现场测量	(85)
臭氧浓度的现场遥测	(86)
臭氧浓度的系留气艇测量	(89)
第四章 大气臭氧层的耗损及其后果	(91)
臭氧层正在遭到破坏	(91)
全球臭氧的耗损趋势	(91)
北半球的臭氧耗损	(93)
高纬度地区的臭氧耗损	(95)
臭氧层破坏的解释	(96)

臭氧层耗损的化学理论	(96)
臭氧层耗损的太阳活动理论	(99)
臭氧层耗损的其他理论	(100)
臭氧层破坏的后果	(102)
对人体健康的危害	(102)
恶化大气环境	(108)
危害水生生物	(113)
对农作物的影响	(117)
对高分子材料的损害	(121)
第五章 大气中的臭氧洞	(123)
南极臭氧洞的出现	(123)
南极上空臭氧浓度的异常变化	(123)
什么是臭氧洞	(125)
臭氧洞的描述	(128)
南极臭氧洞是怎样形成的	(130)
臭氧洞成因的争论	(131)
臭氧洞形成的化学原因	(132)
臭氧洞形成的动力学原因	(135)
南极臭氧洞的演变趋势	(136)
臭氧洞的过去和现状	(136)
臭氧洞何时恢复	(138)
臭氧洞会在其他地区上空发生吗?	(140)
第六章 保护大气臭氧层	(143)
消耗臭氧层物质	(143)
什么是消耗臭氧层物质	(143)
消耗臭氧层物质的理化特性和应用领域	(146)
消耗臭氧层物质的替代物	(150)
保护大气臭氧层行动	(153)
全球保护大气臭氧层行动	(153)

4 · 大气臭氧层和臭氧洞

蒙特利尔议定书和 ODS 控制	(155)
保护大气臭氧层的近期目标	(158)
保护大气臭氧层人人有责	(161)
中国保护臭氧层行动方案	(162)
中国消耗臭氧层物质的生产和消费	(162)
中国国家方案的编制和实施	(166)
中国保护臭氧层行动的目标和措施	(170)
附录 1 大气臭氧历史中的重要事件	(176)
附录 2 《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》 中的 ODS 控制物质和过渡性物质	(179)
附录 3 中国保护臭氧层行动大事记	(181)
参考文献	(186)
后记	(187)

第一章

大气臭氧层

臭氧和大气臭氧层

地球上人类的出现和发展经历着一个适应自然环境、改造自然环境和向大自然索取的漫长过程,随着人类自身的繁衍和科学技术的发展,地球上的人口大幅度增加,人类改造自然的能力空前增强,人类为了自身的生存需求向大自然的索取也更加变本加厉,其结果是人类受到了大自然的无情报复——产生了空前严重的环境问题,从而使人类自身陷入了忧虑不安之中,正在吞噬着自己酿成的苦果。在诸多环境问题中,酸雨、臭氧层破坏和全球变暖被认为是人类当前面临的最重大的三个全球环境问题。人们已经了解,酸雨会对陆地生态、水生生态、材料和居民健康带来严重危害,而全球变暖则会导致海平面上升,进而给人类带来巨大灾难。那么大气臭氧层破坏缘何成为当今世界的重大环境问题呢?什么是大气臭氧层?大气中的臭氧层到底发生了什么问题?南极臭氧空洞是怎么回事?大气中臭氧层破坏与人类生存有什么关

系? 这一连串的问题均需要科学家们进行研究并做出回答。

臭氧的发现

人们对地球大气中的臭氧(O₃)并不陌生,它是三原子氧,是普通氧气的同胞兄弟。最早提出臭氧作为一种物质存在的是德国科学家万·麻鲁(Van Marum),他在1786年的静电实验中发觉了臭氧气味的存在,并指出在某些化学反应过程中以及大气中的一些放电过程中也有类似气味存在。但他当时没有对这种物质冠以专门的名称。1839年德国化学家斯考宾(C. F. Schonbein)在实验中再次发现具有这种气味的物质并用希腊文命名为OZEIN,意思是发臭味的物质。后来许多物理学家和气象学家在实验室内以及通过光谱观测都证实了臭氧作为一种物质的存在。臭氧与我们熟知的普通氧气一样是一种单体,是氧元素的一种存在形式。它的每个分子(O₃)均含有3个氧原子,而正常的氧分子(O₂)只含有2个氧原子。臭氧分子属于对称线性结构分子,即组成臭氧分子的3个氧原子分别位于一个等腰三角形的顶端,这个等腰三角形的边长为1.278 Å (Å读作艾格斯特瑞姆(Angstrom),是长度单位,1 Å = 10⁻¹⁰ m),顶角为116°49′。臭氧的分子量为48,一个臭氧分子的质量为7.97×10⁻²³ g。臭氧与普通氧气的某些物理特征由表1.1给出。

气体状态的臭氧呈浅蓝色,臭氧浓度大时,其色彩更为明显,

表 1.1 臭氧和氧气的某些物理特征比较

特征量	臭氧	氧气
临界温度(°C)	-5	-18.8
临界压力(hPa)	67	49.7
临界体积(L/kg)	1.86	2.33
熔点温度(°C)	-251	219
标准气压下的沸点温度(°C)	-112	183
蒸发潜热(cal*/g)	73	51

* 1 cal = 4.186 J

在标准状况下,气体状态的臭氧密度为 $2.144 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$,液态状态下的臭氧呈深蓝色,其密度约为 1.46 g/cm^3 ,固态臭氧为深紫色晶体。

一般情况下,臭氧为无味气体,但当空气中臭氧浓度达到 10^{-6} 左右时,便能嗅到这种发味物质的特殊刺鼻味道。人们在雷电天气或在有放电作业的场合中往往可以嗅到臭氧的味道。目前,在市场上有很多以放电原理制成的空气清洁设备,当它们工作时人们也会闻到臭氧的味道。空气中含有少量的臭氧对于人的身体,特别是对于人的呼吸系统疾病能起到有益的治疗作用。

与普通氧气相比,臭氧在水中的溶解能力要强得多,在标准状态下(一个大气压,温度为 0°C),臭氧在水中的溶解能力达到 1.09 g/L 。

臭氧是一种化学上很不稳定和氧化性很强的物质,臭氧分子的3个氧原子中的一个氧原子非常容易脱离臭氧分子。即便在常温下,臭氧几乎可以氧化除金和铂金组分以外的所有金属。臭氧可以使白银变黑,可以使黑色的硫化铅(PbS)氧化成金色的硫酸铅(PbSO_4),可以把三氧化二砷(As_2O_3)变为五氧化三砷(As_2O_5)。臭氧还能与大气中很多气体发生反应,参与大气中的很多化学和光化学反应。不仅如此,臭氧还能使许多饱和、非饱和的及链状碳氢化合物的有机物质氧化。臭氧的这一特性使得它在消毒、杀菌、漂白等行业中得到了广泛的应用。

应当特别提到的是臭氧同无机物的一个重要反应,这就是臭氧能使碘化钾(或溴化钾)分解。此外,臭氧还可以与一些有机染料(如鲁米纳,洛丹明-B,洛丹明-C等)相互作用,其结果使这些有机染料发出强烈的荧光。臭氧的这两个特征性质目前已被广泛应用于臭氧含量的定性和定量分析中。例如,在中学的物理实验课中,教师常常借助于浸过碘化钾(KI)溶液的红色石蕊试纸来定性检验臭氧的存在。这一实验中就是根据臭氧能与碘化钾反应生成 KOH 和 I_2 ,而 KOH 可以使石蕊试纸由红色变为蓝色。

最后还应当提及的是臭氧能够使很多高分子材料受到破坏,在当前,很多高分子材料(如橡胶、塑料等)已广泛应用于工业、农业和百姓的日常生活,因此,臭氧的这一特性尤为令人关注。

大气中的臭氧及其他组分

现在人们已经毫不怀疑,臭氧是地球大气中的一种微量气体组分。但是提出臭氧作为一种气体组分存在于地球大气中却是在臭氧作为一种物质被发现约100年之后。1880年哈特莱(Hartley)在实验室里发现臭氧在紫外光谱区有很强的吸收,其吸收带中心位于255 nm(nm,纳米,长度单位,1 nm = 10^{-9} m),后来这一吸收带被命名为哈特莱臭氧吸收带。哈特莱同时还指出,臭氧是高层大气中的一种气体组分。之后不久,夏皮尤(Chappuis)和赫根斯(Huggins)先后于1882年和1890年分别发现了臭氧在可见光区和紫外区的吸收带,并分别被命名为夏皮尤臭氧吸收带和赫根斯臭氧吸收带。至此,在地面观测到的太阳光谱在紫外区突然中断的现象得到圆满的科学解释。哈特莱提出的大气中存在臭氧这一想法在1917年和1921年分别被得到证实。1917年佛尔涅(Fournier)和斯特莱特(Strait)发现大气中的某些光谱与夏皮尤臭氧吸收带十分吻合。1921年法国科学家法布里(Fabry)和布申(Buission)利用光学方法首次对大气中的臭氧含量进行了观测并得到了大气中臭氧的总含量值,从而最终证实了臭氧为地球大气中的一种微量气体组分。

为了对地球大气中的臭氧含量有一个概括的了解,表1.2列出了目前地球大气中一些主要气体组分的体积浓度(即各种气体在空气中所占的百分比)。

地球大气是以氮、氧为主的多种组分混合体,按照它们在大气中含量的变化特性,可分为基本不变的成分和可变成分。基本不变的成分主要是指氮(约占78%)、氧(约占21%)以及其他一些微量气体成分,如氩、氖、氦等,这些气体的总和约占大气总体积的