

二氧化碳与气候

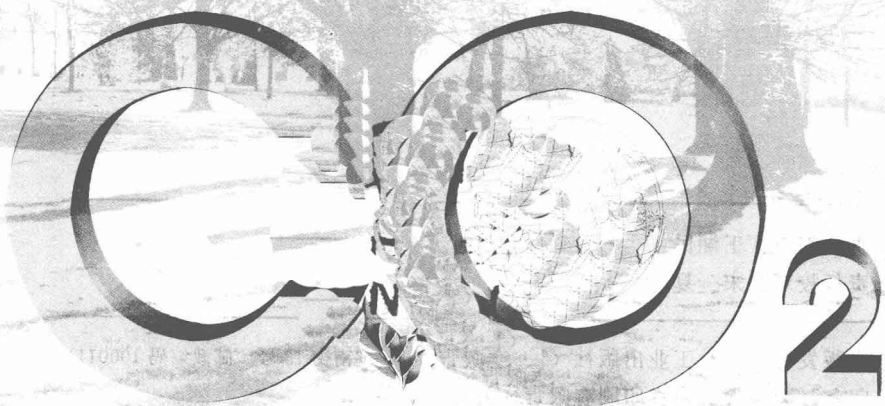
郭远珍 彭密军 编著



化学工业出版社

二氧化碳与气候

郭远珍 彭密军 编著



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

二氧化碳与气候/郭远珍, 彭密军编著. —北京: 化学工业出版社, 2012. 6
ISBN 978-7-122-13873-6

I. 二… II. ①郭…②彭… III. 二氧化碳-排气-影响-气候变化-世界-普及读物 IV. ①X151-49②P467-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 057411 号

责任编辑: 王湘民

装帧设计: 张 辉

责任校对: 宋 夏

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 8 字数 199 千字

2012 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

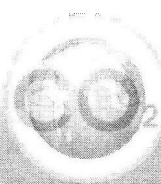
购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究



前言

温室效应，全球变暖，冰川后退，极地冰盖变薄，海平面上升，云层破坏，酸雨污染，森林砍伐，植被遭毁，水土流失，土地荒漠化，气候异常，水资源短缺，生物多样性不断减少等是当今社会面临的全球性问题。近几十年来，地球似乎发怒了，变得越来越疯狂，疯狂到不可捉摸，似乎走到了极端的地步。全球不同地区轮换出现反常的、突发的极端事件和天气，自然灾害频发，给人们造成巨大的经济损失和人畜伤亡，给社会带来严重不安。

这一些都说明，我们的地球是多么脆弱，濒临失去平衡，气候出现反常，环境在不断地恶化，不可捉摸。这是地球会失去平衡，变得越来越脆弱，变得不温顺吗？答案有争论。但许多科学家长期研究认为，人类活动排放的二氧化碳（ CO_2 ）浓度增加而加剧温室效应促使全球变暖，臭氧（ O_3 ）层耗损及大气中氧化作用减弱是改变全球环境的三大战略性威胁，是确定无疑的。

环境是人类和生物生存和发展的物质基础，也是承受人类活动产生的废弃物和各种事物相互作用的场所。环境问题实质上是发展机理和方式问题，它伴随人类经济和社会发展活动而产生。人类社会每次重大技术革命，都把人类自己置身于知识与物质、能源与环境、人与机器相互作用的综合体中，人类违背客观规律的发展方式或措施，都会浪费资源，污染环境，破坏生态系统，造成自然灾害。环境问题有其复杂性、综合性、全球性、渐进性、长期性和隐蔽性的诸多特点，给人类带来的危害与灾难影响是深远、甚至难以

预测的。受害者不仅是享受发展结果带来好处的当代人，而且受害最大的是继承遭到破坏的环境的后代人！所以，环境问题是一个可持续发展问题，是当今人们最关注、议论和研究最多的热门话题。

地球自形成以来，自然力在其中逐渐形成一种平衡：生物依靠空气、水、土壤、太阳能营造一个适合生物生存、繁衍的物质循环系统，物质的供应与消耗、产生与消失在循环中和谐代谢，有序地交换，保持着动态平衡。

工业革命以来，人类以前所未有的规模凌驾于自然，以浩大磅礴的气势征服自然，漫不经心的态度改造自然，极大地改变了世界的面貌：过去自然界没有的物质，被大量制造出来，广泛应用；原来深埋地下的矿物质被挖掘出来；一批批威力强大的、使人眼花缭乱的人造化合物被生产出来，如此种种。虽然人们生活绚丽多彩，比过去过得更加优裕了，但是，这样的结果是，在自然界中某些物质增加了，某些物质又减少了，有的消失了，有一些又新造出来了，形成了新的物质组合和系统，破坏了原来平衡时的物质循环系统，这些受损的因子，超过了自然界本身的自净能力和恢复能力，系统失去了平衡，潜在的危险正在向人们袭来。

CO₂ 是人类发展、建设新生活中所放出物质存在于大气中最多的物质，O₃ 是大气中保护地球生态环境作用很大的高空物质，也是被破坏得最厉害的物质。它们的变化怎样影响环境，有过不少讨论和研究，本书也尝试从 CO₂ 在大气中的存在、分布、变化、性质和机理方面进行探讨，说明一些与环境 and 气候有关的现象和问题。

环境和气候问题涉及多学科交织，是十分复杂的问题，是否只是地球增温的结果，气温升高是否就是 CO₂ 浓度增加主要引起？CO₂ 浓度增加又是否只是人类生活方式造成？可不可能是相反的原因：因为气温升高，CO₂ 浓度才增加；而气温升高却是自然规律周期的必然。有一重要数据不可忘记，人类活动放出的 CO₂ 只

是自然界 CO₂ 放出总量的很少一部分。

温室效应、地球变暖、环境恶化、气候异常到底是“人招来的天灾，还是天降祸于人”的天道行为？到底是“人类干扰、改造和主宰自然的结果，还是自然力量不可战胜，自然主宰人类”？自然界和人类谁主沉浮？很多人认为，自然才是主宰世界的伟大力量，自然因素决定地球环境和气候变化！自然规律不以人的意志为转移。人类原有文明方式排放大量的 CO₂ 和人造物质不是环境恶化和气候异常的主要原因，至多只是助长了这种作用。

在这些问题中，某些机制及详细情况，还在更深入、更全面、更系统的研究之中，它们对环境和气候潜在的、长期的影响，还得等时间和科学来揭示，相信科学最后会给出答案。书中对不同学者（或学派）的观点、结论并未作简单的肯定或否定，只对目前引人注目的可能性问题提供一个合理的综合评述，只是提供一些数据，力求客观，达到像爱因斯坦所说“设法将我们杂乱无章的感觉经验加以整理，使之符合逻辑上一致的思想系统”的目的，供读者比较或研究。

笔者学知浅薄，挂一漏万，不当之处望读者批评指正！

郭远珍
2011年9月



目 录

第一章 碳、二氧化碳的形态与循环	1
第一节 地球的四圈层结构	1
第二节 大气圈和大气圈层中的二氧化碳	4
第三节 地核和地幔中的二氧化碳	29
第四节 岩石和土壤中的二氧化碳	33
第五节 水中的二氧化碳	37
第六节 生物圈中的二氧化碳	45
第七节 碳的循环	69
第二章 大气中二氧化碳的现状和来龙去脉	76
第一节 大气中二氧化碳浓度的变化与观测	76
第二节 大气中二氧化碳的来源	82
第三节 大气中二氧化碳的去向	90
第三章 二氧化碳与大气环境和气候变化	95
第一节 温室效应、温室气体与温室指数	96
第二节 二氧化碳浓度增加(倍增)及其后果	107
第三节 防止二氧化碳浓度增加和全球变暖, 保护地球环境的对策	143
第四章 对全球变暖和气候变化的不同观点	188
第一节 IPCC“变暖派”与NIPCC“怀疑派”	

两种决然不同观点的对阵	188
第二节 米兰科维奇地球气候变化的天文理论 (“米氏理论”)	203
第三节 多四季论	214
第四节 地球系统本身运动引起的内部圈层变化 使环境和气候变化	216
第五节 气候波动的自然周期变化	228
第六节 城市热岛效应	233
第七节 阳伞效应	237
第八节 云雾说(云层增厚论)	239
第九节 人类相信全球变暖的原因	243
参考文献	246



第一章 碳、二氧化碳的形态与循环

第一节 地球的四圈层结构

地球是太阳系中的一个特殊天体，到目前为止被认为是太阳系、甚至宇宙中唯一有生命存在的天体，也是一个特殊的物理学、化学和生物组合的复杂系统。大家知道，凡是球形的天体都具有圈层结构，地球有复杂的圈层结构，即地圈、水圈、大气圈和生物圈。地圈又叫陆圈，或岩石圈，也称内部圈（包括地壳、地幔、地核）。水圈、大气圈和生物圈是外围层，它们有紧密联系和相互影响。

1. 地圈

人们一般把地球本身（固体部分）分为地壳、地幔和地核三部分。地壳是指地球外表一层坚固的硬壳，它是从地表到莫霍面之间岩石圈的一部分。平均厚度为 30km，最大厚度为 65km。如青藏高原的大陆地壳就是为样。最小只有 5~8km，如海洋地壳。岩石圈不等于地壳，岩石圈所包括的范围要大一些，它包括整个地壳和地幔的上面部分，平均厚度为 70~80km。地壳主要是由硅铝氧化物组成，上层为浅色花岗岩质的硅铝层，下面由深色玄武质岩和密谋更大的橄榄岩质组成的硅镁层。海洋地壳几乎全部由硅镁层组成。



地幔是指莫霍面以下，古登堡面以上的圈层，它们的平均厚度达到 2881km，体积约为 $89.8 \times 10^{10} \text{ km}^3$ ，平均密度为 4.53 t/m^3 ，总质量为 $40.68 \times 10^{20} \text{ t}$ ，它是地球的主体，主要由橄榄岩质石组成。地幔又可分为上下两层：30~1000km 左右为上地幔，1000~2900km 为下地幔。上地幔的一部分，即从 70~100km 到 200~240km 这一层里，岩石接近融熔状态，具有较大的可塑性，可以缓慢的流动，是炽热岩浆的发源地。

古登堡面以下是地核，是地球的最内心部分，其半径为 3474km，为 $17.55 \times 10^{10} \text{ km}^3$ ，平均密度为 10.72 t/m^3 ，质量为 $18.81 \times 10^{20} \text{ t}$ ，它主要由密度大的铁镍组成。地核可分为外核和内核两部分，地表以下 2900~4980km 处为外核，可能呈液体状态，4980~5120km 处是一过渡地带，5120km 到地心为内核，可能由固态物质组成。地球内部圈层结构如图 1-1，地球内部圈层不是绝对和界限分明的，各层之间有渗透和相互作用。地球各圈层的物质都含有大量的二氧化碳 (CO_2)，可相互作用生成二氧化碳，是一个二氧化碳的源。

2. 大气圈

大气圈是地球最外部的一个圈层，是地球的一件气体外衣。它的主要成分是氮气 (N_2) (占 78%) 和氧气 (O_2) (占 20.9%)，还有少量的惰性气体、水汽、二氧化碳、尘埃等。大气圈很厚，从地表到数千千米之外，甚至在万里上空都可找到大气的踪迹。根据大气层的高度，运动状态，性质等大气从下向上分为对流层、平流层、电离层等多层。对流层是各种天气现象的发源地和活动舞台，与人类关系最为密切，它集中了大气圈中四分之三的质量 (地球大气总质量估计约为 5270 万亿吨) 和全部水汽，还有 CO_2 和尘埃。

3. 水圈

水圈是指地球上的各种水体：地表上江河，湖泊，海洋中的水，地下水，大气中的水和保存在生物体中的水分等。

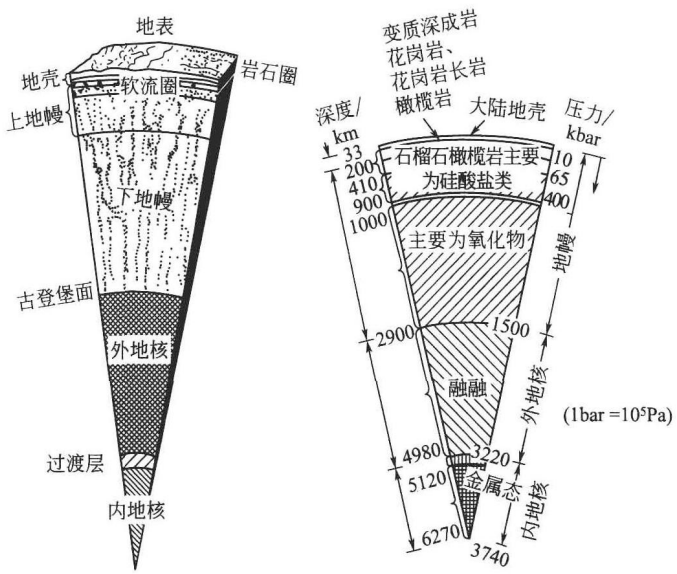


图 1-1 地球内部圈层的构造。

地球上的水大约有 14 亿立方千米，其中海水占 97.2%。地球表面 71% 以上被海水覆盖，另外 29% 的陆地上也到处都是水。川流不息的江河，出没无常的泉水，碧波荡漾的湖水，银装素裹的冰雪都是水存在的形态。水切割地表，削高填低，不断改变着地形地貌。水也是把地球上无机界（水、大气、岩石等）和有机界联系起来，使之成为一个整体的重要媒介，它的存在、运动和循环使地球生机盎然。

4. 生物圈

生物圈由能进行新陈代谢的生命物质组成，包括微生物、植物、动物和我们人类。从世界上最大的鲸、象，到最小的肉眼看不到的、熙熙攘攘遍布全球、广泛存在于大气层、地表、水圈、土壤岩石中的微生物。生物从外部吸取物质转化成自己新的原生质，并将能量储存起来，同时也进行自身的分解放出能量，这样生物体不

断进行自我更新，生长发育，物质在生命过程中不断循环，使物质在四圈层中运动，地球的四圈层就被有机地联系起来，成为地球系统的不可分割的一部分。

第二节 大气圈和大气圈层中的二氧化碳

一、大气的演化

大气圈的成分自地球诞生以来经历了无数次的复杂变化。人们无法获得大气各阶段演化的样品。只有在科学的基础上依靠地质遗迹和太阳系中其他行星的大气资料、宇宙知识结合自然演化规律及物理、化学和生物作用提出大气演化的大概模式。整个演化粗略可分为原始大气、次生大气和现代大气三个演化阶段。

(一) 原始大气

原始大气 [以 H_2 (氢气)、 N_2 为主] 与太阳系起源和地球的形成密切相关。宇宙诞生以后，有许多以氢气为主组成的原星系，在引力作用下气体向中间收缩，密度变大，质量增加，收缩越来越快，致使温度升高，内部最终发生核反应，造成原星体爆炸，在宇宙中形成许多质量各不相同的碎块及包围在周围的宇宙尘埃和气体，形成暗气云。太阳系就是银河系“旋臂”上的旋转暗气云，它由爆炸抛出来的、温度很低的固体碎片、微粒和气体组成。就是这些暗冷物质最后凝聚形成质量大小不一的行星和卫星。

大约在 45 亿年以前太阳系的星云内以固体碎片为基础吸积周围的尘埃、气体和小碎片形成地球胚胎——原始地球——它是一个由岩石、尘埃勉强凝聚起来的松散“堆积体”，温度很低，也没有层次，由于质量小，还不足以留住原来随碎片而来的各种气体。象 H_2 、 N_2 及惰性气体，它们都逃之夭夭，弥散到宇宙中去了，那时所谓原始大气就是暗星云（或地球胚胎）中的气体，以 H_2 、 N_2 为

主，还有甲烷 (CH_4) 和水汽等，见表 1-1。当时大气中 H_2 的质量为地球固体部分镁 (Mg)、硅 (Si)、钛 (Ti) 和氧四种元素质量的 400 倍。

表 1-1 地球原始大气的成分

项 目	大 气 成 分					
	H_2	He	H_2O	Ne	CH_4	Ar
质量分数/%	63.5	34.9	0.6	0.34	0.15	0.15

(二) 次生大气

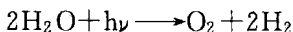
在地球演化过程中，胚胎地球的吸积作用、陨石落向原始地球，使其质量不断增加，重力增大，重力收缩，岩石相互碰撞，陨石轰击释放能量，加上放射性衰变，地球内部变热，可塑性增大，出现局部熔融现象。在重力作用下物质开始分层，部分较重的物质逐渐下沉，地球内部较轻的物质上升，地球逐渐形成地壳、地幔和地核这些层次。随着物质下沉和上升，物质之间重新相互化合、分解，地球形成时被吸积并被禁锢在地球内部的气体随着内部物质作用、活动及火山爆发逸出地表，这时的地球质量和引力完全可以抓住这些气体，使它们渐渐积蓄起来，形成以 H_2 、 CO_2 、 CO （一氧化碳）、 NH_3 （氨气）、 CH_4 、 HCl （氯化氢）、 HF （氟化氢）、 H_2S （硫化氢）、 H_2O （水）、Ar（氩气）等组成的第二代大气，又叫次生大气（还原性大气，以 CO_2 、 CH_3 、 NH_3 、 H_2O 为主）。这些气体主要来自地球内部，是内部物质相互作用形成的，所以这一代大气也叫还原性大气。

从陨石资料可知，早期碎片中含有 SO_2 （二氧化硫）、 Fe_2O_3 （氧化铁）、 MgO （氧化镁）、C（碳）、 CH_4 （甲烷）等，在地球收缩变热过程中，金属氧化剂与碳作用产生 CO_2 、 CO 、 CH_4 ，在高温下分解，水汽与碳作用也生成 CO ，次生大气中没有氧气，因为地壳刚形成时，金属还很多，氧气容易和金属化合，所以次生大气

是缺氧性还原大气。次生大气形成过程中，大量的水汽排入大气，当时地表温度较高，大气不稳定，对流发展，使大量水汽上升凝结，风雨闪电频繁，地表出现江河湖海和海洋（有人认为次生大气中水汽丰富，占79%，CO₂也不少，占12%）。

（三）现代大气

大约在45亿年前，地球原始大气形成过程中，太阳辐射中波长150~210nm（纳米）的紫外线（hν）对微量的水汽（H₂O）和CO₂进行光解，产生微量的游离氧。



这种机制产生的氧气很少，每年可能只有200~400kg（千克，旧称公斤），与目前H₂逸向太空量差不多。光解CO₂和H₂O产生的O₂在大气中分压只有现在水平的千分之一。估计在45亿年的地球历史中无机来源的氧气总量约90000万吨，相当光合作用产生氧气总量的2%~3%。

氧气出现后，就出现了许多新的化学反应。一方面CO氧化成CO₂；另一方面O₂夺去CH₄中的H，使C分离出来，后来又与O₂结合成CO₂；第三方面，O₂还夺取NH₃中的H，使N₂游离出来……这样，大气中O₂和H₂开始逐渐增多。

大约在3.5亿年前，地球的岩石圈（地壳）、水圈和大气圈基本形成。次生大气中的H₂O、NH₃、CH₄和CO₂等在地热和太阳紫外线作用下，简单的无机物化合成有机物、氨基酸、嘌呤及碳水化合物。有机物又进一步合成各种衍生物，如氨基酸合成多肽、腺嘌呤；核糖及磷酸盐合成三磷酸腺苷等。最后多肽和多核苷酸等有机物又通过多苷酸自身的相互作用或多肽与核苷酸之间作用形成自复体系。

目前认为，地球上出现的第一种生物体是异养细菌的原核生物，是非生物形式的，靠有机化合物为生。后来作为养分的有机物

接近耗尽之时，光合作用自养生物出现了，如硫细菌，它们从硫化物（如 H_2S ）中获得电子进行不放出氧气的微弱的光合作用，使大气中硫化氢被消耗。有的细菌以有机化合物作为电子来源，从化学角度上讲，这种获得电子的方式比从水中提取电子容易得多，所以它们的光合作用比蓝藻及现代植物分解水的光合作用要简单。这些细菌是厌氧的，因为当时大气中没有氧。

最初生命出现在原始海洋或其他水域中，并且只能在紫外线达不到的深水中，利用金属氧化剂中的氧气和靠水中有机物作无氧呼吸而获得能量，维持生活。以后出现的氧介酶，它可随生命移动，使生命向浅水移动，并开始利用大气中的 CO_2 和阳光，随后逐渐演化出叶绿素的植物，出现水藻和蓝藻——绿菌。

距今 25 亿年前蓝藻大量繁殖，形成藻类系统的进化，光合作用和水汽分解使大气中的氧气增加，喜氧生物开始新陈代谢，最终导致大约在 15 亿年前出现真核生物。随着生物的进化，生物种类不断增多，生物圈范围也在扩大。海水中游离氧逐渐增多，并和大气中的氧气不断交换。估计大约在 19 亿年前游离氧占了优势，此后大气由还原型转化为氧化型。

生物在环境变化和大气演变中起着重要作用：绿色植物的光合作用吸收 CO_2 ，放出 O_2 ， O_2 与 CH_4 和 CO 反应生成 CO_2 。植物吸收 NH_3 ，合成蛋白质，微生物分解生物残体，放出 N_2 。这使原以 CO_2 、 CH_3 、 NH_3 、 H_2O 为主的还原性大气演变成以 N_2 、 O_2 为主的氧化大气。大气中 O_2 增多， O_2 在紫外线作用下光解放出原子氧（ O ）， O 与 O_2 结合形成 O_3 （臭氧），约在 4 亿年前形成了臭氧层。一旦臭氧层形成，它对太阳强烈的紫外线起着屏蔽和过滤作用，使陆地植物更加茂盛，水生生态逐渐演化到陆地生态，而出现了动物。

动物呼吸放出 CO_2 ，使大气中 CO_2 和 O_2 的比例得到调节，基本上保持平衡。生物的出现，把 CO_2 作为原料，作为太阳光能向

化学能转换的介质，在大气——生物——大气的循环中，大气演变成了以 N_2 、 O_2 、 CO_2 为主要成分的现代大气。

大气在漫长而复杂的演化中，所进行的化学和生化反应可概括为：硫细菌消耗大气中的 H_2S ；大气中的 CO 和 CH_4 被 O_2 氧化成 CO_2 ，增加大气中 CO_2 含量，减少大气中 CO 和 CH_4 ；植物的出现，光合作用放出大量的氧气，并且供动物呼吸，动物又放出 CO_2 ，增加大气中 CO_2 ，消耗氧气，使 CO_2 和 O_2 保持动态平衡。

植物光合作用放出氧气量是很大的，估计现在植物光合作用产生的氧气每年达千亿吨，并且在近数万年内基本稳定。地球系统之所以与其他行星不同就在于有生物圈的存在，使 CO_2 和 O_2 达到协调的比例，并保持动态平衡。在大气的演化过程中，绿色植物使当时过少的氧气不断增多，使过多的 CO_2 减少。另外，大气与岩石接触过程中过多的 CO_2 也缓缓地被岩石吸收，发生化学反应，也减少了大气中的 CO_2 。根据地质资料估计 30 亿年前大气中氧气的含量仅为 0.1%，20 亿年前和 10 亿年前分别达到 1% 和 10%，后几经演变到 $10^6 \sim 10^7$ 年前才形成大致相当今天的大气。

根据地质和古气候的资料分析可知，石炭纪时大气中的 CO_2 含量比现在还高。在 1 亿年前地球大气中氧气很多， CO_2 也很多，那时气温比现在高出 $10 \sim 14^\circ C$ ，格陵兰都生长着面包树，森林茂盛，是恐龙家族的盛世，并且它们还可以出没于南极。

如上所述， CO_2 作为大气圈的一种组分，在地球演变过程中，它的含量不断变化，对地球大气的演变起到了非常重要的作用。在生命出现以前，它作为 CO 、 CH_4 等一些物质氧化的产物，增加其在大气中的含量，生命出现以后作为绿色植物光合作用的原料固定太阳能，制造碳水化合物，作为生物呼吸的排放物，它是碳循环、氧循环和其他物质循环不可替代的介体。

通过对从格陵兰和南极冰原上钻井取出来的冰芯（冰轮）中封

闭的大气泡泡分析得出：过去数十万年内全球平均气温与大气中 CO_2 含量呈正相关。

有人认为地球上五次生物灭绝中有的是 CO_2 造成的。1996 年 7 月古生物学家们提出，2.5 亿年前的二叠纪末恐龙的灭绝不是近地小天体撞击地球所致，而是那时大气中 CO_2 太多， CO_2 毒害生物细胞组织，并溶解海生动物的壳（钙质），使 95% 的物种灭绝。

班欠茨和他的同事们认为，在二叠纪里地球上只有一个单独的超级大海——潘该亚海。那时海洋表面洞穴附近的水变得非常冰冷和稠密，以致沉到海底，并在重新浮到水面之前流向各地。当死亡的生物沉到几乎不流动、无搅动的水域时，因腐烂过程的进行而消耗水中的氧气，致使水中缺氧，同时深层缺氧的水又以某种方式混合涌进浅海区，水生生物随之窒息而死，物种灭绝突然开始了。有机物腐烂又产生大量的 CO_2 ，使海洋中 CO_2 含量高达今天海洋 CO_2 的含量的 30 倍。他们还认为，深水中 CO_2 增多，大气中 CO_2 减少，减轻了温室效应，在几乎千万年内地球第一次出现了南北极冰川，冰层附近的表层水变得很冷并且沉到海底，推动着深层含 CO_2 多的冷水从深海流向浅水区，这时物种厄运难逃，大批生物开始死亡、灭绝。 CO_2 不仅杀死了海湾生物，而且造成大气中 CO_2 增加，气候变暖，极地冰融化，深海循环依次减弱，又开始重复前一次物种灭绝过程。

二、现代大气圈和大气中的二氧化碳

大气 (atmosphere) 一词源自希腊，意思是“蒸发球”。现在，人们常指的大气是包围在地球表面外围的空气，它是一种非常活跃的流体，它不仅有自己的运动，而且还随地球转动而运动，并参与地球上一切循环过程和物理、化学、生物及人类活动的过程。大气越向高空越稀薄，大气层的高度没有严格的界限，它延伸到高空上千公里，深入地下数公里。一般把从地面到 1100~1400km 厚的大