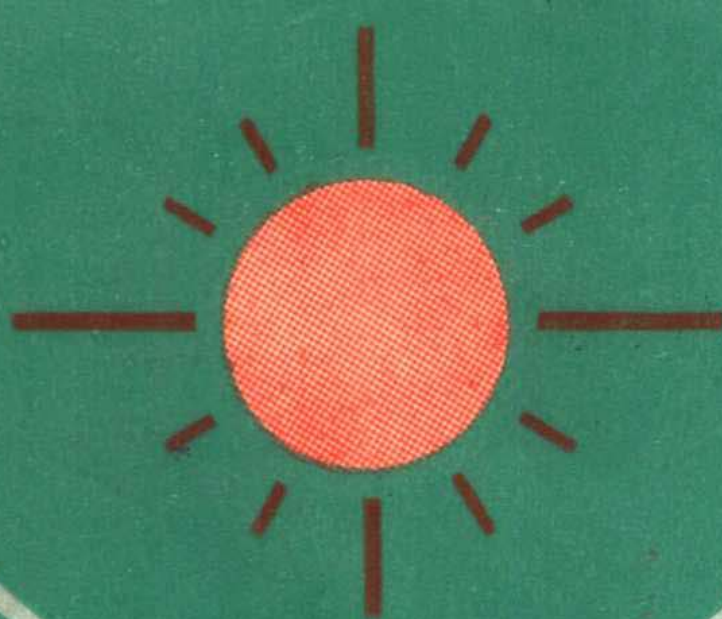




农业气象学

NONGYE QIXIANGXUE

江苏科学技术出版社

农业气象学

冯定原 王雪娥 编著

江苏科学技术出版社

农 业 气 象 学

冯定原 王雪娥 编著

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：常州人民印刷厂

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 24 插页 3 字数 590,000

1984 年 2 月 第 1 版 1984 年 2 月 第 1 次印刷

印数 1—4,500 册

书号 16196-143 定价 2.40 元

责任编辑 陆宝珠

内 容 提 要

本书以长江中下游地区常年农业生产实践和天气气候特点为依据，从当前国内外普遍重视的“农业气象学”角度出发，系统地阐述了有关气象基础知识、气象条件在农业生产中的利用和改造以及气象为农业生产服务等内容。它对于指导、安排农业生产和开展气象为农业生产服务颇有裨益。这本书适于地、县气象、农业科技人员，高等农业院校农学、园艺、植保专业学生以及中等农业技术学校农业气象学教师阅读参考。

目 录

概 述	1
第一章 昼夜、季节和地球大气	3
第一节 昼夜和季节的形成与变化	3
第二节 地球大气的起源、组成及其结构	6
第三节 大气运动的能量来源	13
第四节 主要气象要素及其观测	18
第二章 天气变化的基本原理	42
第一节 天气系统	42
第二节 天气分析	61
第三节 天气预报	71
第三章 长江中下游地区常年天气气候特点	79
第一节 秋冬春季的寒潮	79
第二节 春秋季节的低温连阴雨	84
第三节 初夏的梅雨	91
第四节 盛夏的伏旱	98
第五节 夏秋季节的台风	101
第六节 春末至秋初的雷雨、冰雹	108
第四章 农作物生长发育与气象条件	115
第一节 光照条件与农作物的生长发育	115
第二节 热量条件与农作物的生长发育	121
第三节 水分条件与农作物的生长发育	128
第四节 几种主要农作物的气象	135
第五章 农业气象调查、观测和试验	163
第一节 农业气象调查	163
第二节 农业气象观测	168
第三节 农业气象试验	185
第六章 农田小气候及其改造	206
第一节 农田小气候形成的物理基础	206
第二节 农田小气候观测	209
第三节 农田小气候的基本特征	218
第四节 地形和水域对农田小气候的影响	226
第五节 农田小气候的改造	229

第七章 单站天气预报服务	238
第一节 运用简易天气图等有关图表预报天气.....	238
第二节 运用历史气象资料预报天气.....	255
第三节 运用天、物象等群众看天经验预报天气.....	265
第四节 运用简易数理统计方法预报天气.....	271
第八章 农业气象预报和情报服务	299
第一节 农业气象预报的编制.....	299
第二节 农业气象预报的种类和内容.....	302
第三节 农业气象预报的常用方法和实例.....	305
第四节 农业气象情报.....	323
第九章 农业气候服务	329
第一节 农业气候分析.....	329
第二节 农业气候区划.....	351
第三节 农业气候资料服务.....	356
附 表	369
一、气象方面的常用表	369
(一)气象常用常数.....	369
(二)气象要素换算表.....	369
(三)云的简写表.....	370
(四)平年各日顺序累积天数表.....	372
二、农业方面的常用表	372
(一)农作物密度查算表.....	372
(二)农作物亩株(穗)数速测法或速算表.....	375
(三)水稻、小麦测产查对表.....	376
(四)由样本产量换算成亩产表.....	378
三、度量衡换算表	379
(一)长度换算表.....	379
(二)面积换算表.....	379
(三)容积换算表.....	380
(四)重量换算表.....	380

概 述

气象是指地球大气中发生的各种物理过程和物理现象。

农业气象学是研究农业生产与气象条件相互关系及其作用与变化规律的学科。其目的是藉助气象学理论和技术解决当地当前农业生产中存在的有关气象问题，保障农业丰产稳产。

近年来，国外大多数国家也十分重视农业气象学的研究和发展。目前以气象学理论和技术为基础的农业气象技术，经过多年生产实践检验，已发展有预测、顺应和改良等三个方面。这些农业气象技术不仅能直接服务于农业生产实践，而且也考虑了农业气象学各部分主要内容，即：

(一)气象预测技术 包括农业气象预报以及对农业生产有关的预测技术。

1. 农业气象预报 根据农业生产需要而编发的气象预报，使农业生产能够充分利用有利的气象条件，防止和克服不利气象条件的影响。

2. 气象灾害预报 预报旱涝低温等气象灾害的发生和危害程度大小，及早采取预防或挽救措施。

3. 农作物产量预报 从天气气候角度对农作物产量作出正确的预报，为各级党政领导制定农产品收购、调运、贮存、销售和进出口贸易计划提供科学依据。

4. 病虫害预报 农作物病虫害的发生发展与气象条件适宜与否密切相关。生产实践证明，从气象角度预报病虫害的发生发展往往比从病虫角度更为准确。这对于指导病虫防治工作，尤其是使用适应当时气象条件的药剂，可获少花钱、多收益的效果。

(二)顺应气象技术 农业生产受天气气候等气象条件影响很大，并非人力所能完全支配，故积极采取顺应气象技术，具有非常重要的实践意义。

1. 适地适作 根据当地的天气气候特点制订农业生产计划，选择合适的作物畜禽种类和品种，以及采用有效的农业技术措施。

2. 适期适作 对同一地区说来，如何把选定的作物、畜禽种类和品种安排在一年当中气象条件最适宜的时期种植或饲养，这对种植或饲养成绩好坏影响很大。我国天气气候由于具有季风性和大陆性都很强烈的特点，年际之间的变化差异很大，特别需要注意适期适作。

(三)改良气象技术 传统的耕翻、垡作、中耕、镇压、覆盖等栽培技术可以改良土壤气候状况；风障、温床、温室、灌排等也是改良农田小气候的主要方法。改良气象技术，过去和目前虽多停留在农田小气候方面，但坚信将来可推广至局地气候和大气候方面。

1. 农田小气候的改良 农田小气候除受大范围的天气气候作用外，也受作物种类、种植方式、耕作栽培措施等影响和调节。

2. 局地气候和大气候的改良 众所周知，防护林两侧的气候状况是显然不同的。利用这种差异可以有效地改良局地气候和大气候，使之有利于农业生产。以调节气候状况而营造的人造林，总称为气候调节林。其中用以防风者称为防风林；用以防沙者称为防沙林；用以

防霜者称为防霜林。多数气候调节林均系单一任务,但也有同时具备数种任务的气候调节林。我国三北(东北、西北、华北)地区目前正在营造的“绿色万里长城”成林后,将使三北地区的风沙干旱状况有明显改善。

综上所述,农业气象学是应用气象学的重要分支,实践性很强,应熟悉和掌握这门学科,并应用预测、顺应和改良等农业气象技术于生产实践,以便做到趋利避害。在气象条件较好的年份,争取更高的产量;在气象条件较差的年份要做到少减产或不减产,为农业的现代化作出贡献。

第一章 昼夜、季节和地球大气

昼夜和季节是人类在生产和生活中经常碰到的自然现象，地球大气更是人类和动植物等生命有机体赖以生存的外界环境，特别是地球大气既能防护来自太阳的直接辐射，又能阻挡地面放出的有效辐射，使地面昼间升温 and 夜间降温幅度大大缓和，具有“花房效应”，从而使得各种动植物等生命有机体能够正常地进行生长发育并形成产量。云、雾、雨、雪等天气现象以及蒸发、凝结等物理过程也全都发生在地球大气之中。

从人造卫星或宇宙飞船等星际空间眺望地球，则大气就好象一件披在地球身上的浅蓝色薄纱外衣。透过这层薄纱外衣，地面上的山脉、河川、海洋等雄伟壮丽的景物尽映眼帘。当然，要想欣赏大自然中彩虹飞舞、晕华生辉等美丽细节，则还是在地面上目睹为好。

第一节 昼夜和季节的形成与变化

昼夜和季节的形成与变化，都是地球相对于太阳运动——自转和公转，而发生的现象。地球绕太阳公转的轨道是一条椭圆形曲线，公转的轨道称黄道，公转一周所需的时间为 365 天 5 小时 48 分 46 秒。地球在绕太阳公转的同时，还围绕地轴自西向东自转，自转一周所需的时间为 1 天。地球自转轴与地球绕太阳公转的轨道面之间的夹角为 $66^{\circ}33'$ 。

一、昼夜的形成和长短变化

(一) 昼夜的形成 地球的自转形成了昼夜的交替。在自转过程中，地球总是有半个球面向着太阳，有半个球面背着太阳。面向着太阳的半球，被太阳光照射，叫昼半球，这里是白昼；面背着太阳的半球，无太阳光照射，一片昏暗，叫夜半球，这里是黑夜。昼半球与夜半球的分界线，叫晨昏线。晨昏线与纬圈线相交割，把纬圈线各分为两个弧段。处于昼半球的弧段，称为昼弧；处于夜半球的弧段，称为夜弧（图 1-1）。

当地球自西向东作自转运动的时候，昼半球东边的区域逐渐进入黑夜，夜半球东边的区域逐渐进入白天。地球如此不停地自转，就形成了地球上昼夜交替的现象。

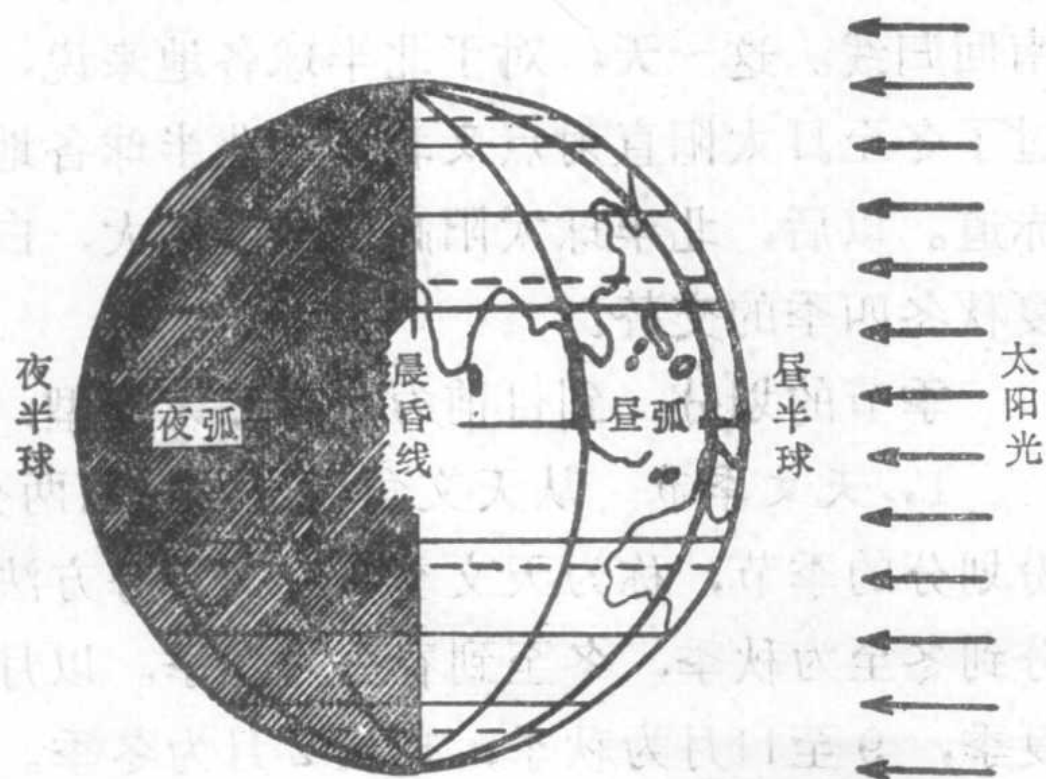


图 1-1 昼夜的形成

(二)昼夜长短的变化 地球在公转时，地轴始终和公转轨道面保持 $66^{\circ}33'$ 的倾角；同时，地球在运转时地轴所朝着的方向，基本不变。因而地球在公转轨道上所处的位置不同，太阳直射地球的位置也不一样。一年当中太阳直射点变动于南北纬 $23^{\circ}27'$ 之间，我们把南北纬 $23^{\circ}27'$ 的纬圈线分别叫做南回归线和北回归线。太阳直射点变了，晨昏线在地球上的位置也会改变，由晨昏线交割纬圈线而成的昼弧与夜弧也会发生变化，因而不同纬度地区的昼夜有长有短。其变化规律为：春分（3月21日）和秋分（9月23日）太阳直射在赤道上，各纬度上昼夜等长，正如农谚“春分秋分，昼夜平半分”所说。夏至（6月22日）太阳直射北回归

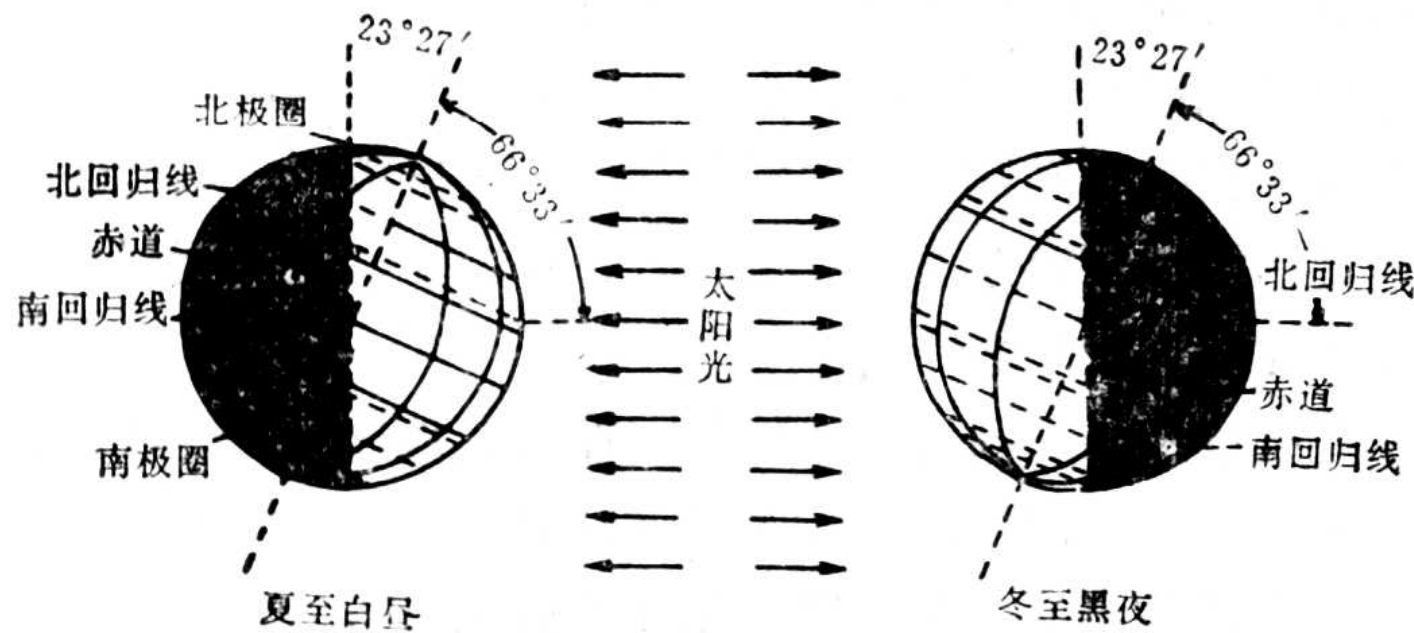


图 1-2 昼夜长短的变化

线上 ($23^{\circ}27'N$)，这时北半球各地的白昼达到最长，越往北方，昼越长，夜越短，到北极圈内 ($66^{\circ}33'N$ 以北) 出现永昼；冬至（12月22日）太阳直射南回归线上 ($23^{\circ}27'S$)，此时北半球各地白昼达到最短，越往北方，白昼越短，黑夜越长，在北极圈内出现永夜（图 1-2）。

总之，在北半球各纬度上，从春分到秋分（这半年称夏半年），都是白昼比夜晚长，夏至白昼长到顶点，且纬度越高，白昼越长，黑夜越短。由于绝大多数农作物都在春分到秋分的温暖季节内生长发育，故我们称北方是长日照地区，南方是短日照地区。

二、季节和节气

(一)季节的形成和划分 在地球的公转和自转过程中，随着地球在公转轨道上的位置不同，对某一地点所得到的热量就有显著的差异，这便形成了春夏秋冬四季的变化。

当太阳直射北回归线（夏至日）时，北半球地方，太阳高度最大，受太阳照射时间最长，因而受热最多。过了夏至日，太阳直射点逐渐南移，太阳高度变小，昼长变短，北半球受热开始减少。到了秋分日，太阳直射赤道，南北半球各地昼夜等长。秋分日以后，太阳直射点移向南半球，北半球各地的太阳高度一致减小，昼长继续缩短，到了冬至日，太阳直射南回归线。这一天，对于北半球各地来说，是太阳高度最小、昼长最短、受热最少的日子。过了冬至日太阳直射点又北移，北半球各地太阳高度又开始增大，到第二年春分日，又直射赤道。以后，北半球太阳高度继续增大，白昼又变长，受热又增多。如此反复，便形成了春夏秋冬四季的交替。

季节的划分，到目前为止有二大类型：

1. 天文季节 从天文角度出发，以两分（春分、秋分）两至（夏至、冬至）节气或按月份划分的季节，称为天文季节。其划分方法是：春分到夏至为春季，夏至到秋分为夏季，秋分到冬至为秋季，冬至到春分为冬季。以月份划分的季节是：3至5月为春季，6至8月为夏季，9至11月为秋季，12至2月为冬季。

这种从天文角度出发，以两分两至节气或按月份划分的季节，四季长短大体相同，都为

90天左右，对于四季分明的中纬度地区说来，出入不大，用起来也较方便。但对其它地区则出入较大，例如赤道附近终年炎热，两极附近终年严寒，我国云南有些地方却是四季如春等。对这些地方，上述天文季节的划分方法就显得不太适用了。

2. 气候季节 根据一年当中不同时期的气候特征来划分季节，称为气候季节。现代气候学认为温度变化对人类生活和动植物生长发育关系最为密切，是季节更替的主要标志，因此，四季应以温度高低作为划分依据。我国气候上现在采用候(即五天)平均气温作为划分四季的指标，取 10°C 为冷与暖的分界温度， 22°C 为暖与热的分界温度，其划分四季的标准是：

- 冬季 候平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 。
- 春季 候平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ， $<22^{\circ}\text{C}$ 。
- 夏季 候平均气温 $\geq 22^{\circ}\text{C}$ 。
- 秋季 候平均气温 $<22^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 。

根据这种划分标准，我国愈往北方，冬季愈长，夏季愈短，东北地区的北部，冬季长达8个月而无夏季。相反，愈往南方，夏季愈长，冬季愈短，华南地区夏季长达6~8个月而无冬季。大致以长江中下游地区为分界线，在它以北的地区冬季长于夏季；在它以南的地区夏季长于冬季。全国从东北南部起直到福建北部的广大地区春季比秋季长。云南高原不仅无夏季，冬季亦很短，春秋特别长，素有四季如春的美称。这种气候季节的划分，是比较符合我国广大人民几千年来对春夏秋冬的习惯和各季物候现象的实际情况，因此，已经成为我国最流行的一种划分季节的方法。

(二)二十四节气 二十四节气是根据地球绕太阳公转时，地球在黄道上的位置来决定的。即把黄道一周的 360° (称为太阳黄经)首先分为四等分，每一等分相隔 90° ，春分时地球所在位置定为太阳黄经 0° ，夏至为 90° ，秋分为 180° ，冬至为 270° 。除了这四个节气外，从春分起，每隔黄经 15° 定为一个节气，就成为我国劳动人民早已制定的二十四节气(图1-3)。

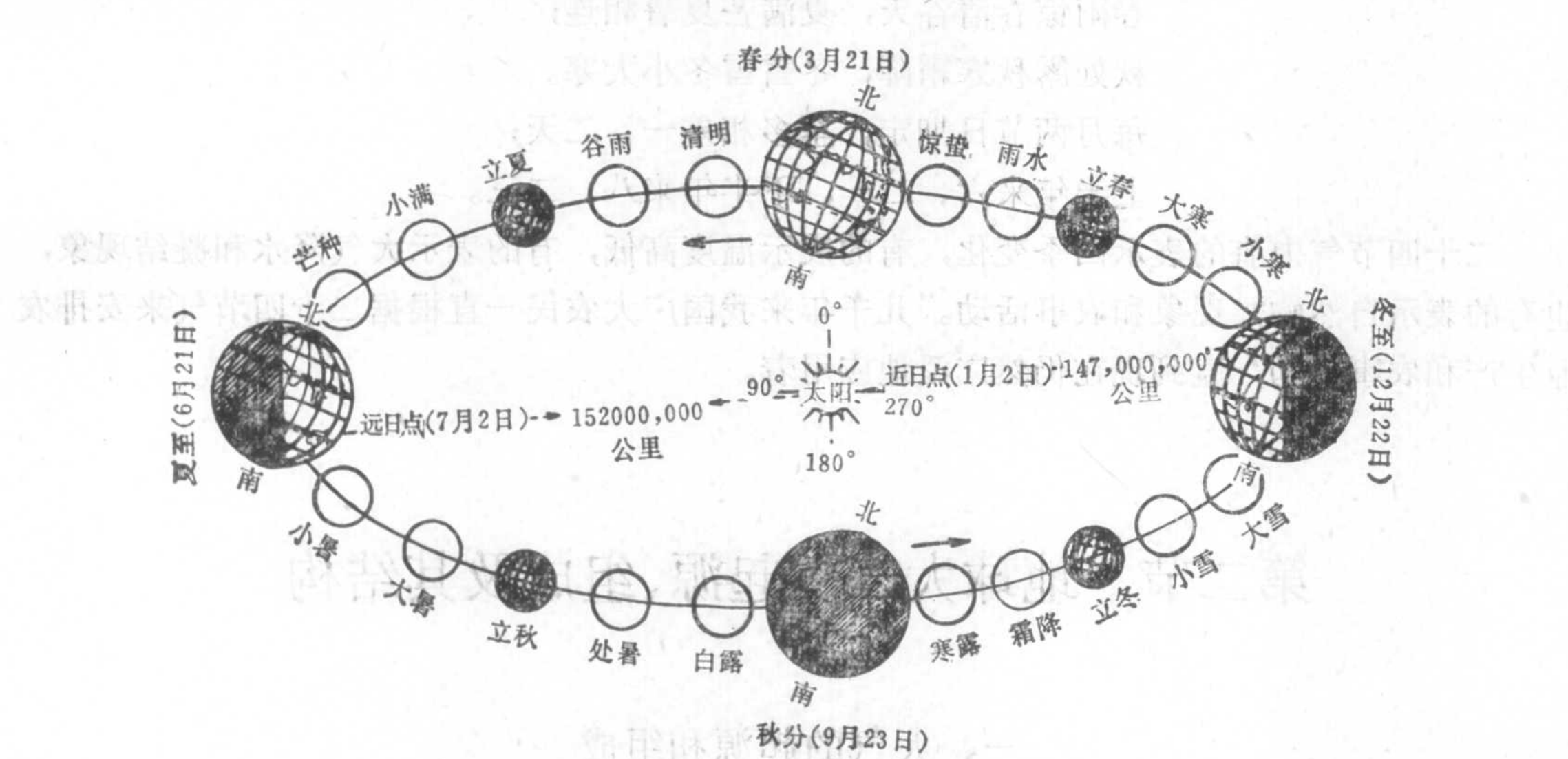


图1-3 二十四节气

由于地球绕太阳公转的轨道是椭圆的，所以地球在轨道上的运行速度也不同。虽然相邻两个节气之间都是相隔 15° ，但天数并不完全一样，平均为15天左右，也有14天或16天的。由于

二十四节气和阳历都是根据地球绕太阳公转来制定的，所以二十四节气在阳历上的日期几乎是固定的（表 1-1 ）。

表 1-1 二十四节气在阳历上的日期

节气名称	太阳黄经 (度)	阳 历 日 期		相邻节气 间隔天数	节气名称	太阳黄经 (度)	阳 历 日 期		相邻节气 间隔天数
		月	日				月	日	
立 春	315	2	4 (5,6)	15	立 秋	135	8	8 (7,9)	16
雨 水	330		19 (20)	15	处 暑	150		23 (24)	15
惊 蛰	345	3	6 (5)	15(16)	白 露	165	9	8 (7,9)	16
春 分	0		20 (21,22)	15	秋 分	180		23 (24)	15
清 明	15	4	5 (4,6)	15	寒 露	195	10	8 (9)	15
谷 雨	30		20 (21,22)	15	霜 降	210		24 (23)	16
立 夏	45	5	6 (5,7)	16	立 冬	225	11	8 (7)	15
小 满	60		21 (20,22)	15	小 雪	240		23 (22)	15
芒 种	75	6	6 (5,7)	16	大 雪	255	12	7 (8)	14
夏 至	90		22 (21)	16	冬 至	270		22 (23)	15
小 暑	105	7	7 (8)	15	小 寒	285	1	6 (5)	15
大 暑	120		23 (24)	16	大 寒	300		20 (21)	14

注：表中阳历日期栏内，括号前为多数年份的日期，括号内为少数年份的日期。

上述二十四个节气，为了便于记忆，劳动人民已将它们编为如下歌谣：

春雨惊春清谷天，夏满芒夏暑相连；
秋处露秋寒霜降，冬雪雪冬小大寒。
每月两节日期定，至多相差一、二天；
上半年来六、二一，下半年来八、二三。

二十四节气中有的表示四季变化，有的表示温度高低，有的表示大气降水和凝结现象，也有的表示自然物候现象和农事活动。几千年来我国广大农民一直根据二十四节气来安排农业生产和农事活动，直到现在仍然广泛地应用着。

第二节 地球大气的起源、组成及其结构

一、大气的起源和组成

地球周围存在着大气，这个客观事实是人们早就公认了的。但是，地球周围的这层大气是怎么来的？或者说是怎样起源的？长期以来却并不清楚。最近十多年经过各方面的试验研究一致证明：我们今天所观测到的地球大气是由伴随着火山活动而从地球内部喷射出的挥发

性物质变成的。但因这种变化实在太太，以致使得任何处于活动火山嗅觉范围内的人，很难看出我们现在所知道的地球大气与从火山内喷射出来的原材料之间有丝毫相似之处。现在的地球大气就其质量来说，大概由78%的氮和21%的氧以及氩、二氧化碳、水汽等多种气体混合组成（表1-2）。但作为对比的从火山喷射出来的气体却大约由85%的水汽、10%的二氧化碳以及百分之几的氮和硫或硫化物（二氧化硫和硫化氢）混合组成。在火山喷射物中显然没有自由的氧。

表1-2 100公里以下地球大气的组成

成 分	分 子 量	含 量（占 总 分 子 数 的 比 值）
氮 (N ₂)	28.016	0.7808 (按质量计占75.51%)
氧 (O ₂)	32.00	0.2095 (按质量计占23.14%)
氩 (Ar)	39.94	0.0093 (按质量计占1.28%)
水汽 (H ₂ O)	18.02	0 ~ 0.04
二氧化碳 (CO ₂)	44.01	325×10^{-6}
氖 (Ne)	20.18	18×10^{-6}
氦 (He)	4.00	5×10^{-6}
氪 (Kr)	83.70	1×10^{-6}
氢 (H ₂)	2.02	0.5×10^{-6}
臭氧 (O ₃)	48.00	0 ~ 12×10^{-6}

为了了解现在的大气是如何由地球内部排出的挥发性物质变成的，必须把大气看成是地球组合系统的一部分，而不是一个与地球隔绝的实体。这个组合系统是由水圈（地面以上或地表水的总量）、生物圈（一切有生命的动植物）和称为岩石圈的沉积部分（地壳）组成的。组合系统中包含的挥发性物质总量约为地球质量的0.025%。大气质量与组合系统中的其它部分相比是很小的，例如它只有水圈质量的1/300，这个事实很重要，必须记住。

（一）水圈的演化 当火山喷射时，大气只能容纳进入其中的很小一部分水汽质量。因此，地球表面最早的火山活动必定产生云和雨，通过这一过程形成了地球表面上的水体。现将水圈各组成部分列于表1-3。

表1-3 水圈的各组成部分

成 分	占水圈质量的百分比（%）
海 洋	97
冰	2.4
淡 水（地 下）	0.6
淡 水（河、湖等）	0.02
大 气	0.001

假如以过去一世纪中由火山喷放的蒸汽率代表地球生命期内的平均蒸汽喷放率，则现在水圈的总质量应是很小的，比起进入大气的水汽总量至少要小两个数量级。对这种偏差的可能解释是在海洋深处水体沿地壳接缝产生渗漏，另一种可能是大量的水被紫外辐射所光解而受到破坏。假如我们接受金星、火星和地球一样，都是由类似的物质以相同的方式构成的假设，那么就可能产生下列疑问：为什么地球上存在海洋而金星、火星上就没有呢？火星上不存在海洋是容易解释的，因为火星表面太冷以致水体不能以液态存在。若火星上水汽也是火

山喷射的主要成分，则大多数水体必定以冰的形式储存在极冠地区。最近，“水手号”宇航器从火星上获得的资料表明，在极冠地区确实有存在着冰的可能。至于在金星表面，因为温度很高（约近 430°C ），要想在那种条件下找出相当数量的液体水、冰或水合物，似乎是不大可能的。所以，火星的固体物质形成时所包含的水，远比地球为少，而金星则几乎失去了所有的水。

(二)大气中的氧和生命 大气中的氧至少有两种来源，水的离解和光合反应。即：



这两种反应均涉及对太阳辐射的吸收。（1-1）式要求吸收紫外辐射，（1-2）式要求吸收可见光辐射。

现已完全确信，光合反应（1-2）在地球上产生了大量的氧，但是还不知道从地球形成时的氧化状态出发，通过光合作用产生的氧的总量，是否足以形成现在地壳物质所具有的氧化状态。

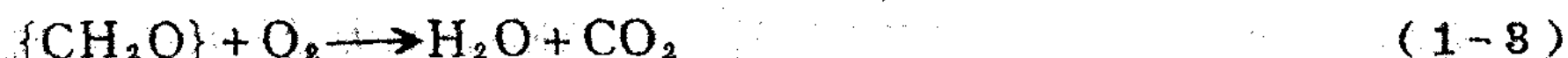
光解反应（即水的离解，1-1式）作为大气中氧的来源还是一个有争论的问题。因为（1-1）的反应率存在着明显的不确定性，它取决于与之竞争同一紫外辐射的其它光合反应，而且在（1-1）式中氧的生成率完全依赖于反应中产生的氢向空间的逃逸率。若逃逸率远低于生成率，则（1-1）式中产生的大多数氧将与氢再重新化合成水。

光合作用生成的氧与生物过程密切相关。由于在（1-2）式中产生的 $\{\text{CH}_2\text{O}\}$ 单体是植物生命中形成细胞的糖类（碳水化合物）分子的基本构成部分，同时在地球大气中氧的含量很丰富，而在金星或火星上由于没有或几乎没有生命活动，其中的大气*又几乎完全没有氧，这就促使人们认为地球大气中的大部分氧是由光合作用产生的。

目前，人们认为在 4×10^9 年以前，单细胞有机体当经历演化的第一阶段时，要求一个无氧（即无还原性大气）的环境。地质学的根据表明：在 $2 \sim 3 \times 10^9$ 年以前，植物生命的原始形态已经发展到开始通过光合反应（1-2）式释放极少量的氧，并认为这类早期的生命形式是在液态水环境中发展的，这个环境位于液面以下足以避开致命的太阳紫外辐射的地方，但又相当接近液面，以便接受光合作用所需要的可见光辐射。

探测和试验一致证明，当大气中的氧逐渐增加时，就导致了高层大气中臭氧（ O_3 ）层的形成，从而过滤掉了太阳辐射光谱中的紫外部分。随着臭氧层的发展，透过大气到达地面的紫外辐射愈来愈少，促使植物生命在海洋中向上扩展进入最上层，从而扩大了接触可见光辐射的机会。这种可见光辐射是光合作用中必不可少的成分。由于愈来愈多的氧，愈来愈少的紫外辐射，愈来愈多的可见光辐射，愈来愈丰富的植物生命，便产生更多的氧。通过这种增益放大过程，生命就缓慢地但却坚定不移地向液态水表面推进，直到它最后出现在陆地上，那已大约是400万年以前的事了。

(三)氧和碳的平衡 每一个由（1-2）式过程生成的氧分子被一个碳原子与它结合并被组织到有机化合物中，在有机化合物燃烧或腐烂时，这些碳原子中的大多数又被氧化了。即：



尽管有几万个碳原子参与光合作用，但总能有一个原子隐藏起来或“化石化”而未被氧

* 这里的大气系指包裹在金星和火星外围的稀薄空气。

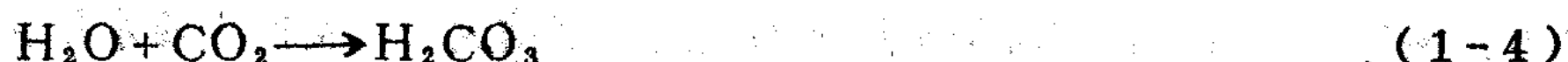
化。地球上大多数未被氧化的碳原子包含在页岩中，而小部分以比较浓缩的形式储藏在化石燃料(煤、石油和天然气)中。生物圈中的有机碳储存期较短，含量也少，只占碳的总储量的很小一部分(表 1-4)。

化石燃料的燃烧是光合作用的逆过程，以目前的燃料消耗率计，人类一年内消耗的量相当于光合作用一千年合成的量。

当我们想起光合作用已经进行了十几亿年时，显然这种消耗率是并不值得惊慌的，而且我们还可以从这样的事实得到抚慰。即地壳中储藏了大量的有机碳，尽管人类的开发利用，其数量实在是太少了。

在地球历史时期内，由植物生长活动生成的氧的净总量(即光合作用合成——腐烂分解)只有10%储存于现在的大气中，而绝大多数则以三氧化二铁(Fe_2O_3)和碳酸钙(CaCO_3)、碳酸镁(MgCO_3)等氧化物形式存在于地壳中，其中的碳酸钙、碳酸镁具有特殊意义，因为二者是在火山活动中释放的大量 CO_2 的主要来源。

碳酸钙、碳酸镁是通过发生在某些海洋有机体中的离子交换反应而生成的，这类有机体中最重要的是单细胞有孔目。二氧化碳溶解后形成弱的碳酸溶液：



随后又产生了一系列反应，其净效应如下：



CaCO_3 进入动物躯壳，最后又沉积在地壳的石灰石中。碳酸镁的形成也与此类似。(1-5)式中放出的氢离子同地壳中的金属氧化物产生反应，从中夺取一个氧原子，使自己变成另一个水分子。而金属氧化物缺少了一个氧原子后就有从大气中来的氧原子代替它。因此，当碳酸钙或碳酸镁等形成时，大气中的氧会有所减少；而当碳酸钙或碳酸镁等溶解时，氧又返回大气。根据这个原理，人们早就认为有孔目等各种能形成碳酸钙或碳酸镁的海生动物，作为在碳酸钙或碳酸镁形成过程中的中间体，它们具有调节大气中氧的含量的本领，使得过去几百万年以来大气中的氧始终维持不变。

石灰岩中到处出现海生动物化石，说明在海水中，离子交换反应对移除地球大气中的二氧化碳起了重要作用。火星大气以二氧化碳为主，可能就是(至少部分是)由于火星表面没有液体水的缘故。金星大气也含有大量的二氧化碳，但原因与火星不同，这是由于金星表面温度很高而引起的，在这样高的温度下，金星大气中二氧化碳总量和表面岩层中的碳酸钙、碳酸镁等储量之间一定存在近似的平衡关系，其反应为：



有迹象表明，地球大气中二氧化碳的移去率，跟不上由于燃烧化石燃料而产生的二氧化碳的输入率。自本世纪初以来，大气中的二氧化碳浓度一直在稳定上升，其输入增加率大致已达到燃烧化石燃料添加到大气中的二氧化碳输入率的一半。

(四)其它一些大气成分 由于类似于(1-5)式的离子交换作用和土壤微生物的固氮作用排放到大气中的氮，其中约有20%进入到地壳的硝酸盐中，但是氮具有化学惰性，它在水中的溶解度又低(仅为二氧化碳的1/70)，所以，从火山喷发出来的氮大部分仍保留在大

表 1-4 地表附近碳的相对含量

生物圈：	海洋内生物中的碳	10^9
	海洋以外生物中的碳	10^8
	大气内 CO_2 中的碳	7×10^7
	海洋中溶解的 CO_2 中的碳	4×10^8
	化石燃料中的碳	8×10^{12}
	页岩中的碳	8×10^{15}
	碳酸盐中的碳	2×10^{16}

气中；而从火山喷发出来的水和二氧化碳，却由于前面提到的过程，几乎完全从大气中移走了。因此，氮就变成地球大气中的主要气体成分了。

由火山喷发进入大气的硫及硫化氢、二氧化硫等硫化物，很快被氧化成三氧化二硫，并溶解于云滴中形成稀的硫酸溶液。大气经过降水质点的清洗后，硫离子和金属离子结合，在地壳中形成硫酸盐类；二氧化硫也可以与液体水中存在的氨产生反应，形成硫酸铵。

氩是地球大气中含量远比其它惰性气体多得多的气体。大气中的氩99.7%属 ^{40}Ar ，它是地球固体部分放射性物质 ^{40}K 衰变时的副产品，这是使它在大气中含量特多的主要原因。地球大气中的氦、氖等其它惰性气体，大部分也是由放射性物质衰变产生的。

(五)两种可变成成分的气体 表1-2中的水汽和臭氧与其它气体不同，它们的浓度随时间和空间变化很大，这两种气体虽然仅是大气中的微量成分，但在大气能量平衡以及在吸收通过大气而传播的辐射方面，却起着十分重要的作用。特别是水汽既是形成云雾雨雪等天气现象的物质基础，又是引起风云变幻的主角。如果大气中没有水汽，那么云雾雨雪等天气现象也就会绝迹；如果没有水汽在蒸发、凝结过程中的吸热和放热进行能量传输转换，那么各种天气系统的发生发展也就没有能量来源。此外，水汽还能强烈地吸收和放射波长为0.7~3.0微米*或更长的长波辐射，对地面和低层空气温度变化有一定的影响。

大气中的水汽主要来自地表水分的蒸发。据测定：全球平均每年约有 4×10^{14} 吨水分蒸发进入大气（其中海洋蒸发为 3.5×10^{14} 吨，折合约1000mm厚的水层）。水汽从海洋和大陆表面蒸发出来进入大气，被气流带至遥远的地区而凝结成云，又产生降水重新回到地球表面，其中约3/4的降水直接落在海洋上，剩下部分则落在大陆上。落在大陆上的降水通过大小河川最后仍然汇归海洋。正是由于大气中水汽的蒸发、凝结、成云、致雨，这种永无休止的循环过程，使得地球表面与大气之间的热量和物质得到了输送和转换，生命不息，运动不止，构成了形形色色的天气变化。太阳虽然总的为地球大气运动提供了巨大能源，但隐身在大气之中浓度可变、行踪不定的水汽却直接起着导演和演员的作用，在世界各地演出了各种各样的天气和气候，有时给人们带来舒适和乐观，有时也会带来灾难和悲伤。

单个水分子的生命期，一般多在一星期左右。水汽在大气中分布的规律，一般主要集中在0~8公里的大气低层，随着高度、纬度升高和远离海洋而迅速减少，中纬度地区10公里高度以上已减至很少。夏季的水汽含量通常多于冬季。

大气中的臭氧因主要受太阳紫外辐射作用使氧分子分解为氧原子，而后与另一个氧分子化合而形成，故多出现在20~60公里高度的气层中。在城市上空受污染的空气中，也有极少的臭氧存在。在地球表面，臭氧由于易同植物产生反应和溶解于水中而迅速破坏。大气中的臭氧含量是不断变化着的，一方面有新的臭氧不断生成，另一方面又有旧的臭氧不断分解消失。前者与太阳紫外辐射强弱密切相关，后者则随温度升高而加速。一个臭氧分子在分解消失过程中会释放出24~70千卡的热量。如果大气中臭氧生成与消失的数量相等，即称达到动态平衡。达到动态平衡时的臭氧浓度与温度有关。温度高，浓度小；温度低，浓度大。臭氧在大气中的分布规律一般是由赤道向两极增加，并随季节而变化，最大值出现在春季，最小值出现在秋季。当高纬地区的冷空气向低纬地区入侵时，伴随着温度的下降，必然促使低纬地区的臭氧含量增多；相反，当低纬地区的暖空气向高纬地区推进时，伴随着温度的升高，必

* 1微米 = 10^{-4} 厘米。

然促使高纬地区的臭氧含量减少。

大气中的臭氧由于能强烈地吸收太阳紫外辐射，使得对生物有杀伤的紫外线不能到达地面，故对地面生物具有明显的保护作用。同时，臭氧强烈地吸收太阳紫外辐射后，引起臭氧所在气层空气温度升高，使整个20~60公里高度范围内的水平温度梯度自极地指向赤道，对平流层的大气环流有着一定的意义。此外，臭氧还是一种强烈的氧化剂，能促使空气中吸湿性较弱的气体氧化变成吸湿性较强的气体。例如吸湿性较弱的二氧化硫在臭氧作用下会氧化变成吸湿性很强的三氧化硫。

(六)大气尘埃 除了上述各种气体成分外，在实际的地球大气中尚存在有半径为 $5 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-2} \text{cm}$ 大小的各种各样固体质点，悬浮在低层大气中。这些悬浮在低层大气中的固体质点通常称为大气尘埃。大气尘埃的来源大致可分为地面生成和宇宙生成两大类。

属于地面生成的有：土壤质点和岩石风化后生成的微粒、工厂烟囱排出的大量烟粒、矿山开采和森林火灾后生成的微尘、从海面吹散的海水飞沫、蒸发后飘浮在空中的微小盐粒以及微生物、植物花粉、火山尘等。

属于宇宙生成的有：进入大气的陨石燃烧后所产生的微粒以及宇宙尘等。

大气尘埃含量可相差3~4个数量级，即从每 m^3 空气中含有几百粒~几十万粒，并且随时间和空间而不断变化，其一般规律是：中午多，早晚少；夏季多，冬季少；城市多，乡村少；沙漠地区多，滨海地区少；赤道地区多，两极地区少；陆地上多，海洋上少。

大气尘埃能吸收一部分太阳辐射，同时又阻碍地面放热，所以，对地面和空气温度的变化有一定影响。此外，大气尘埃还能使能见距离变小，引起一些大气光学现象，并可成为水汽凝结的凝结核，对云、雾、降水的形成起着重要作用。

二、大 气 的 结 构

所谓大气的垂直结构乃指大气的垂直分层。探测结果表明，大气的温度分布和电离现象在从地面至高空的垂直方向上是不均匀的。根据不同高度气层的特点，特别是气温垂直分布特征，按照世界气象组织规定的标准，可将整个大气分为四个主要层次和三个过渡层（表1-5及图1-4）。

表中各层的平均高度是对中纬度而言的。对不同的纬度、季节和天气形势来说，其实际高度与平均高度有较大的偏离。

(一)对流层 对流层是大气的最低层，直接与地面相接，受地面影响最大。据观测，对流层的厚度随纬度、季节和天气系统不同而有变化，低纬地区平均为17~18公里，中纬地区平均为10公里，高纬地区平均为7~8公里。

对流层是天气变化最复杂的层次，在这一层里集中了80%以上的大气质量和几乎所有的水汽，云、雾、雨、雪等主要天气现象都发生在这一层内，对人类生产和生活影响最大，是我们研究的重点。

对流层的主要特征为：

表 1-5 大气中各层名称和平均高度(公里)

主要层次	平均高度	过渡层	平均高度
对流层	0~10	对流层顶	10~11
平流层	11~50	平流层顶	50~55
中间层	55~80	中间层顶	80~85
热成层	85~800		