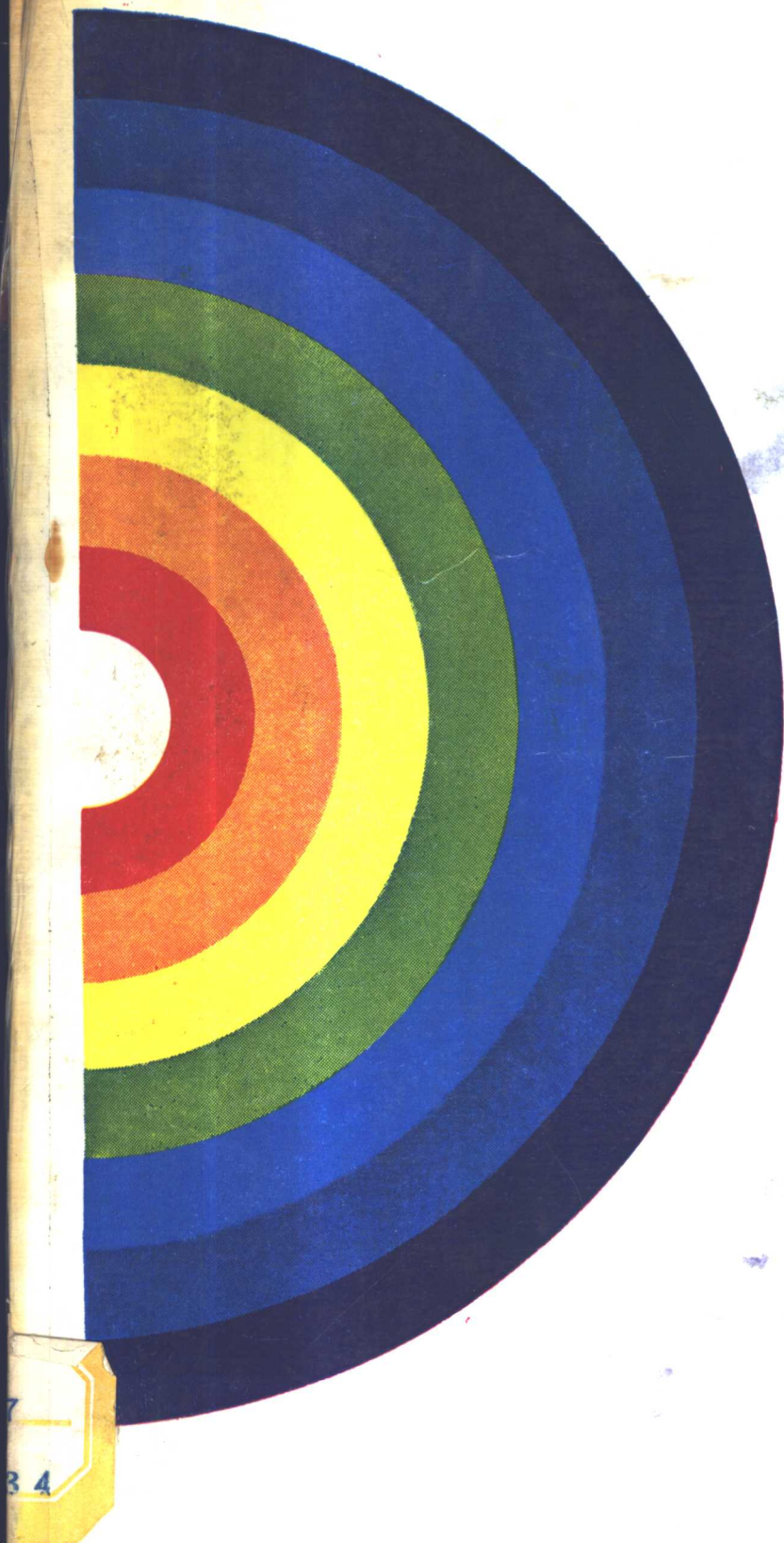


气象学与气候学基础

★ 卜永芳 主编

高等教育出版社



34

327

853486

2334

327
2334

中学教师培训教材

• 卫星电视教育、教育学院、函授、自学通用 •

气象学与气候学基础

卜永芳

合编

韩明娟

合编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书较浅近地阐述了有关气象学与气候学的基本知识与基本技能，适用于参加卫星电视培训的在职中学地理教师。

全书分三大篇共九章。书中主要介绍了大气的组成和特性、大气的能量、温度、水分、大气的运动以及天气和天气预报的基本知识，并根据中学地理教学的特点，阐述了气候形成的因素、分类和变化。

本书亦可供地理专业的大专学生以及有关科技人员应用。

责任编辑：张月娥

气象学与气候学基础

卜永芳 韩明娟 合编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 16.25 字数 374 000

1987年10月第1版 1988年3月第2次印刷

印数 4 441-11 450

ISBN 7-04-000219-1/K·11

书号 12010·084 定价 3.20 元

出版说明

为了贯彻落实《中共中央关于教育体制改革的决定》提出的“争取在五年或者更长一点的时间内使绝大多数教师能够胜任教学工作”的任务，国家教育委员会决定通过各种培训渠道（包括卫星电视教育、教育学院、函授等）有计划、有步骤地对现有中小学教师进行培训提高，并在全国范围内组织编写中小学教师的培训教材。

国家教育委员会委托我社根据原教育部制订的中学教师进修高等师范专科各专业教学计划和教学大纲的规定，负责组织编写并出版卫星电视教育使用的初中教师进修高等师范专科专业课程教材，并且要求这套教材同时也能适用于教育学院、函授等培训形式。我社在全国范围内按专业组织了有关学者、专家、教师，认真分析初中教师在职进修和自学的特点，结合当前教学改革的要求，开展了编写工作，这套培训教材涉及到初中教师进修高等师范专科十二个专业（汉语言文学、历史、政治教育、英语、数学、物理、化学、生物、地理、体育、音乐、美术）全部专业课程的教科书和参考书（包括学习指导书、实验指导书、参考资料、作品选等），供全国参加卫星电视教育、教育学院、函授进修高师专科或自学的初中教师选用。

目 录

绪论

第一篇 气 象

第一章 大气概述 (3)

第一节 大气的组成 (3)

一、大气的成分 (3)

二、大气污染 (5)

第二节 大气的结构 (6)

一、大气的上界 (6)

二、大气的垂直分层 (7)

第三节 大气的重要物理特性 (10)

一、主要的气象要素 (10)

二、状态方程 (14)

第二章 大气的能量和温度 (16)

第一节 太阳辐射 (16)

一、辐射概述 (16)

二、太阳辐射 (18)

第二节 地面辐射和大气辐射 (24)

一、地面辐射、大气辐射和地面有效辐射 (24)

二、地面及地-气系统的辐射差额 (26)

三、地球上的热量平衡 (29)

第三节 大气的增温与冷却 (29)

一、水陆表面增温和冷却的差异 (29)

二、大气的增温和冷却 (30)

三、大气的绝热过程 (31)

四、大气稳定度 (34)

第四节 大气温度随时间的变化 (37)

一、气温的周期性变化 (37)

二、气温的非周期性变化 (38)

第五节 大气温度的空间分布 (39)

一、气温的水平分布 (39)

二、气温的垂直分布 (42)

第六节 农业指标温度和积温 (45)

一、农业指标温度 (45)

二、积温 (46)

第三章 大气的水分 (48)

第一节 蒸发与凝结 (48)

一、水分相态的变化 (48)

二、饱和水汽压 (49)

三、影响蒸发的因素 (52)

四、大气湿度的变化 (53)

五、大气中水汽凝结的条件 (55)

第二节 地表面的凝结物象 (55)

一、露和霜 (55)

二、雾凇和雨凇 (56)

第三节 大气中的凝结现象 (57)

一、雾 (57)

二、云 (58)

第四节 大气降水 (60)

一、降水的形成 (60)

二、降水的类型 (61)

三、降水的时间变化 (63)

四、降水量的地理分布 (64)

第五节 人工影响局部天气 (66)

一、人工降水 (66)

二、防 雹 (67)

三、防 霜 (68)

四、消 雾 (68)

第四章 大气的运动 (70)

第一节 气压的变化 (70)

一、气压随高度的变化 (70)

二、气压随时间的变化····· (74)	二、寒潮的路径····· (134)
第二节 气压场 ····· (77)	三、寒潮的天气····· (134)
一、表示气压场的方法····· (77)	第二节 梅雨 ····· (135)
二、气压场的基本型式····· (79)	一、梅雨天气特点····· (135)
三、气压系统的垂直结构····· (80)	二、梅雨的形成····· (137)
第三节 大气的水平运动 ····· (83)	第三节 台风 ····· (137)
一、作用于空气的力····· (83)	一、台风概述····· (138)
二、自由大气中的空气运动····· (86)	二、台风的结构和天气····· (139)
三、自由大气中风随高度的变化····· (89)	三、台风的形成和消亡条件····· (141)
四、摩擦层中的空气运动····· (90)	四、台风的移动····· (143)
第四节 大气环流 ····· (91)	第四节 对流性天气过程 ····· (143)
一、大气环流的形成····· (92)	一、雷暴····· (143)
二、全球气压带和风带····· (94)	二、冰雹····· (144)
三、大气环流的变化····· (100)	三、龙卷风····· (145)
四、季 风····· (100)	第五节 天气预报 ····· (145)
五、局地环流····· (102)	一、天气图预报方法····· (146)
六、大气环流对洋流的影响····· (104)	二、数值预报方法····· (147)
	三、概率统计预报和MOS (模式) 预 报方法 ····· (148)
	四、我国的单站预报方法····· (148)
第二篇 天 气	
第五章 主要天气系统 ····· (107)	
第一节 气团和锋 ····· (107)	
一、气 团····· (107)	
二、锋····· (112)	
第二节 气旋与反气旋 ····· (118)	
一、概 述····· (118)	
二、锋面气旋····· (119)	
三、冷性反气旋····· (123)	
第三节 常见的高空大气系统 ····· (123)	
一、阻塞高压与切断低压····· (124)	
二、高空低压槽和高压脊····· (126)	
三、高空切变线和西南低涡····· (126)	
四、副热带高压····· (129)	
第六章 主要天气过程和天气预报 ····· (133)	
第一节 寒 潮 ····· (133)	
一、寒潮的标准····· (133)	
	第三篇 气 候
	第七章 气候及其形成因素 ····· (151)
	第一节 气候系统概述 ····· (151)
	一、气候系统的概念····· (151)
	二、气候系统的属性····· (152)
	第二节 太阳辐射在气候形成中的 作用 ····· (153)
	一、天文辐射的分布····· (153)
	二、天文气候带····· (154)
	第三节 大气环流在气候形成中的作 用 ····· (155)
	一、大气环流与热量输送和水分循环·· (155)
	二、大气环流与洋流对大陆东西两岸 气候的影响 ····· (157)
	第四节 地表性质对气候的影响 ··· (159)

一、海陆分布对气候的影响·····	(159)	一、震旦纪大冰期气候·····	(200)
二、地形对气候的影响·····	(162)	二、寒武纪—石炭纪大间冰期气候·····	(200)
第五节 冰雪覆盖与气候·····	(166)	三、石炭—二迭纪大冰期气候·····	(200)
第六节 小气候·····	(168)	四、三迭—第三纪大间冰期气候·····	(201)
一、小气候的形成·····	(169)	五、第四纪大冰期气候·····	(201)
二、小气候的一般特性·····	(171)	第二节 近一万年来气候波动·····	(202)
三、几种小气候·····	(172)	一、冰后期的气候波动·····	(202)
第八章 气候分类·····	(178)	二、历史时期的气候波动·····	(203)
第一节 以气温和降水为基础的分		第三节 本世纪以来的气候变化·····	(204)
类法·····	(178)	一、冷暖趋势·····	(205)
一、A热带多雨气候带·····	(179)	二、降水趋势·····	(205)
二、B干燥气候带·····	(179)	第四节 气候变迁的原因·····	(206)
三、C温暖气候带·····	(179)	一、太阳辐射·····	(206)
四、D寒冷气候带·····	(180)	二、大气环流和洋流·····	(207)
五、E极地带·····	(180)	三、冰雪覆盖的变化·····	(208)
第二节 以气团、环流为基础的分		四、火山活动的影响·····	(209)
类法·····	(182)	五、人类活动的影响·····	(209)
一、低纬度气候带·····	(183)	第五节 未来气候的变化·····	(210)
二、中纬度气候带·····	(183)	附录 I 气象与气候实习指导·····	(213)
三、高纬度气候带·····	(184)	实习一 观测站的建立·····	(213)
第三节 现行中学地理所用的气候		实习二 温度和空气湿度的观测·····	(215)
分类·····	(185)	实习三 气压的观测·····	(221)
一、热带气候带·····	(185)	实习四 风的观测·····	(225)
二、亚热带气候带·····	(189)	实习五 降水和蒸发的观测·····	(229)
三、温带气候带·····	(190)	实习六 日照的观测·····	(231)
四、亚寒带气候带·····	(193)	实习七 云和天气现象的观测·····	(233)
五、寒带气候带·····	(194)	实习八 简易天气图的分析·····	(236)
六、高地气候·····	(195)	实习九 气候资料的统计·····	(241)
第九章 气候变迁·····	(198)	附录 II 近代气象观测技术简介·····	(248)
第一节 地质时期的气候变迁·····	(198)		

绪 论

地球的外部包围着一层深厚而连续的气体圈层，构成了所谓大气圈，我们人类就生活在这层大气中。大气圈是人类地理环境的重要组成部分。在大气中发生着不同的物理过程和物理现象，如辐射能的吸收和放射，热量的传导和对流，水分的蒸发和凝结等。这些物理过程在一定条件下产生了风、云、雨、雪、虹、晕和雷电现象。研究大气层中的物理过程和物理现象的科学就是气象学。气象学所涉及的问题很多，在气象学上用以解决这些问题的方法差异很大，再加上科学技术的发展，气象学乃分成许多分支学科：例如，有专门研究大气物理性质及其变化原理的大气物理学；有着重讨论天气现象及其演变规律，并据以预报未来天气变化的天气学和研究气候的形成过程、分布和变化规律的气候学等。

气象和人类息息相关，是人类生活和生产不可缺少的重要条件。农业与气象、气候关系最为密切，因为整个农作物的生长过程都处于大自然中，受自然条件的制约和影响很大。因此，气象科学除了提供正确的天气预报，以避免和减少寒潮、霜冻、低温、阴雨、大风、暴雨等灾害性天气和旱、涝异常天气给农业生产可能带来的重大损失以外，耕作制度的改革、作物的合理布局、新品种的引进等，也必需考虑当地的气候条件，需要提供气象资料。其他如工厂、矿山、大型水库的建设，捕鱼、植树造林、航空、水利以及国防工业等等，都需要利用气象资料和天气预报。北京的工业区选择在东南郊，其原因之一就是北京常年盛行西北风的缘故。工厂区位于城市的下风方向，工厂的烟尘就不致大量扩散到市内，可减少市区的大气污染，有利于人民的身体健康。在水利建设中，为了作好流域总体规划、水库设计、防洪等，就需要该流域有关水文、气候资料，特别是降水资料（雨季长短、平均降水量、降水强度、暴雨范围持续时间、降水变率等等），设计水库时就特别需要可能最大降水资料，并且还需把大型水库建成以后所产生的气候效应考虑进去。气象对国防的关系也很密切，现代战争中气象情报是军事行动的重要依据之一。例如，风、云、雷暴、雾、能见度等天气现象就直接影响着航空、航海以及炮兵、装甲兵等兵种的行军、作战、后勤等活动。充分利用有利的天气条件，利用正确的天气预报，常常是克敌制胜的重要条件。另外，海港、机场、航线的选定都需要应用气候资料，雾日和低云多、能见度差的地区就不宜作这种建筑。选定航线时沿线各地多年平均云量、云状、云高及沿途盛行风向和能见度资料也必须考虑，只有充分考虑了沿线的气象与气候资料，才能确定最有利的航线和飞行高度。

由于气象与气候的应用十分广泛和重要，所以气象学与气候学很早就为人类所注意。我国劳动人民自古以来就重视大气中各种现象的观测和预测。三千年前殷代甲骨文中已有关于风、云、雨、雪等文字记载。周代曾设立了进行天文和云气光象观测的高台，其中就有观测“云物”来判断未来天气变化的项目。春秋战国时代已能根据风、云、物候观测记录，确定24节气，对指导农业生产季节有很大的意义，并一直沿用到现在。测风仪和雨量器都是我国最先应用的，利用头发伸缩、兽毛竖伏、琴弦松紧等现象判断晴雨，也早是我国民间常用的

观测湿度的方法。在古代的广大劳动人民中间,积累了许多天气谚语,其中有不少对于局部地区的天气预报有参考价值,也是我们祖先在生产实践中积累的宝贵看天经验。

我国对气象与气候的研究虽有悠久的历史,但由于长期封建统治的压抑,再加上近代资本主义势力的侵入,以致在解放前的旧中国,气象事业却十分落后。中华人民共和国成立以后,在中国共产党的领导下,我国气象事业得到蓬勃发展。全国各地普遍建立了气象台站,除各省和地区都有气象台、各县有气象站外,还设了许多专业站,如高山、海洋、农垦、盐业气象站等。各气象台站广泛开展了天气预报和资料统计分析工作,积极地为国防和国民经济建设服务。在研究工作方面,比较深入地研究了东亚台风、寒潮、梅雨以及大气环流等问题,研究了西藏高原对于大气环流的影响,季风和旱涝的关系以及人工控制天气等问题。目前许多主要的气象用仪器都能自己制造,包括主要的高空探测工具等。1970年4月24日,我国成功地发射了第一颗人造地球卫星,标志着我国的科学技术达到了一个新水平,同样可以标志我国气象科学进入了一个新阶段。近几年来,各主要台站已进行了卫星云图分析、雷达观测,数值预报方法也大有发展和提高。此外,人工降水、消雹、防霜等已有较广泛的实施,并取得了一定效果。暴雨试验研究正积极开展。气候变迁、应用气候、农业气象等事业也正在积极进行。随着科学技术水平的提高,气象科学必将进一步向前发展,为国民经济建设作出更大的贡献。

在地理系开设气象与气候学,是因为自然地理学研究的对象是自然地理环境,自然地理环境是由地球的大气、岩石、水和生物圈层组成的自然综合体,它们是相互影响和互相制约的。因此气象学、气候学与自然地理领域中的各门科学关系十分密切。所以,学习地理科学,必须研究气象学和气候学。通过本课程的学习,要基本掌握大气的物理现象、物理过程、天气演变,以及气候的形成、变化和分布的规律;了解人类对天气和气候的利用、控制和改造的基本知识,并通过实践初步掌握气象观测、单站预报及一般气候资料的统计和分析,为今后学习其他部门自然地理和区域地理奠定必要的基础。

第一篇 气 象

第一章 大 气 概 述

在地球大气中，存在着各种不同的物理过程和物理现象，这些过程和现象的发生和发展是与大气本身紧密联系着的。因此，在讨论这些过程和现象之前，有必要先了解大气的一般情况。本章首先讨论大气的组成和结构，并在此基础上了解大气的重要物理特性。

第一节 大气的组成

一、大气的成分

大气是由多种气体混合组成的，是一种无色、无味的气体。其中主要有氮、氧、氩、二氧化碳等，此外还包括一些悬浮在空气中的固体和液体杂质。

(一) 干洁空气

大气中除去水汽和固体杂质以外的整个混合气体，称为干洁空气。其成分中，氮和氧占整个容积的99%以上，再加上氩的容积，三者便达到99.9%，其他气体不足0.1%（见表1-1）。

表 1 1 干洁空气的成分 (25km以下)

气体种类 和分子式	空气中的含量 (%)		气体种类 和分子式	空气中的含量 (%)	
	按容积	按质量		按容积	按质量
氮 N ₂	78.09	75.52	氦 He	5.24×10^{-4}	—
氧 O ₂	20.95	23.15	氪 Kr	1.0×10^{-4}	—
氩 Ar	0.93	1.28	氢 H ₂	5.0×10^{-5}	—
二氧化碳 CO ₂	0.03	0.05	氙 Xe	8.0×10^{-6}	—
氖 Ne	1.8×10^{-3}	—	臭氧 O ₃	1.0×10^{-6}	—

从地面到90公里高度范围内，干洁空气中的各种气体的容积百分比相当稳定。90公里以

上，大气的主要成分仍然是氮和氧，但从80公里开始，由于太阳紫外线的照射，氧和氮已有不同程度的离解：在100公里以上，氮已基本上都离解了。

在干洁空气中以氮、氧、二氧化碳和臭氧为最重要，现分别简述如下：

1. 氮气：氮是大气中含量最多的成分，约占干洁空气质量的75%，它是地球上生命体的基本成分，也是合成氨的基本原料。大量的氮能够冲淡氧，使氧不致太浓，氧化作用不过于激烈。氮在自然条件下可通过豆科植物根的作用，被改造为易被植物吸收的化合物，它是植物的良好养料。

2. 氧气：氧是大气中含量仅次于氮的气体，约占干洁空气质量的23%，它是动植物进行呼吸所必需的物质，也是人类呼吸，维持生命的极重要的气体，同时还决定着有机体的燃烧、腐败等过程。在大气中进行各项化学变化时，氧通常起着重要的作用。

3. 二氧化碳：二氧化碳在大气中很少，仅占整个空气质量的0.05%，多集中在20公里以下，在20公里以上显著减少。它主要来源于有机物的燃烧或腐化，以及动物的呼吸，因而在人烟稠密的工业区，二氧化碳含量较高。此外，二氧化碳含量还随时间而变，这主要决定于植物在阳光、天气和其他条件下分解二氧化碳的强度。一般是夜间多，白天少；冬季多，夏季少；阴天多，晴天少；城市多，农村少。大工业城市二氧化碳的含量较多，当含量达到0.2—0.6%的时候，对人类就有害了。大气中二氧化碳虽少，但它的作用可不小，我们周围的绿色植物在其生命过程中，需要吸收大量的二氧化碳，合成糖类和其他物质。二氧化碳对太阳辐射吸收很少，但能强烈地吸收地面辐射。同时它又向周围空气和地面放射长波辐射，对温度有一定的影响。近年来，由于大气中二氧化碳的增加，对气候变化产生了一定的影响。

4. 臭氧：大气中臭氧的含量极少，而且变化也很大。它主要是氧分子在太阳紫外辐射和闪电作用下，部分分解的氧原子 ($O_2 \rightarrow O + O$) 与氧分子结合而产生的 ($O + O_2 \rightarrow O_3$)。低层大气中的臭氧主要是由闪电、有机物氧化造成的，由于这些作用并不经常，所以低层大气含臭氧很少，且不固定。高层大气中臭氧的形成，主要是太阳的紫外辐射引起的。多年观测表明，臭氧含量随高度的分布很不规则。在地面层臭氧含量很少，从10公里高度开始逐渐增加，在20—25公里处达最大值，称为臭氧层；再往上，含量又逐渐减少，到50—60公里高度上就极少了。如果把横截面为一平方厘米的整个铅直大气柱中的臭氧，完全订正到标准状况下的厚度来计算大气中的臭氧总含量，那么臭氧层仅仅只有3毫米，其变化范围为1.5—5.5毫米。造成这一现象的原因是由于在大气上层，短波紫外线的强度很大，使得氧分子几乎发生完全的分解，因此氧原子和氧分子相遇的机会很少。在较低的层次，紫外线的强度因大气的吸收而减弱，只有部分的氧分子发生分解。在35公里处，既有足够的氧分子，又有足够的氧原子，这就造成了臭氧形成的条件，使得臭氧的混合比（指单位质量干空气中的臭氧质量）最大，再通过下沉气流的作用，将臭氧向下输送，造成在20—25公里的层次中臭氧的数量最多。

臭氧对太阳紫外辐射的吸收极为强烈。由于这种作用，使40—50公里高度气层中的温度大为增高；同时，还保护了地面上的生物，使之免受过多的紫外辐射的伤害，而透过来的少量紫外辐射，却可以起到杀菌治病的作用。

近年来关于臭氧层的问题在有些国家引起了广泛的重视。据有关资料报导，近年来北美洲上空臭氧的含量在减少，而皮癌发病率在增加，据研究，它们之间具有相关性，并认为臭氧密度只要减少5%，每年就足以产生8000例皮癌。导致臭氧减少的原因，除去一些自然因素外，比较普遍的看法是与工业废气、超音速飞机排气等污染物质有关。因此，随着工业和航空事业的发展，臭氧层保护措施的研究和实施，已提到议事日程上来了。

(二) 水汽

大气中的水汽来源于江、河、湖、海及潮湿的物体表面；植物叶面的蒸发或蒸腾作用。空气的运动将水汽输送到较高的高空气层中。大气中水汽含量变化很大，在低温干燥陆地上空接近于零；而在温度较高的洋面上空则达4%。通常大气中的水汽主要集中在地面附近，在1.5—2公里的高度上即减少为地面的一半，在5公里高度，减少为地面的1/10，再向上含量就更少了。但在某些情况下，也有水汽含量随气层高度升高而增大的情形。

大气中的水汽含量随纬度和时间也有变化，一般来说，纬度愈高，水汽含量愈少；夏季的水汽含量大于冬季。

大气中的水汽含量虽不多，但它是天气变化中的一个重要角色，也是大气中唯一能发生相变的成分。水汽的相变引起了云、雾、雨、雪等一系列的天气现象。水汽蒸发和凝结要吸收和放出潜热，又能强烈地吸收和放射长波辐射。它直接影响着地面和空气的温度，从而影响大气的升降运动。

(三) 固、液体杂质

大气中悬浮着各式各样的固体杂质和液体微粒，这种固体杂质和液体微粒也可称为气溶胶粒子。在大气中，这一类成分所包含的物质，除由水汽变成的水滴和冰晶外，主要是指大气尘埃和悬浮在空气中的其他杂质。它们有的来自流星在大气中燃烧后产生的宇宙尘埃；有的是地面燃烧所产生的烟粒，或被风卷起的尘土；有的是海洋中浪花溅起在空中蒸发后留下的盐粒子；有的是火山爆发后留在空气中的燃烧产物；有的是由细菌、动物呼出的病毒、植物花粉等。

大气中的尘埃含量因时间、地区、高度而异。就地区来讲，城市多，农村少，陆地多，海洋少；就季节来讲，一般是冬季多，夏季少；就一天时间来讲，一般是清早和夜间多，午后少。

大气中的固体杂质悬浮在空中，会使大气能见度变坏，但它能充当水汽凝结的核心，对云、雨的形成起着重要的作用。杂质对地面和空气的温度也有一定的影响。

二、大气污染

由于人为因素所产生的含有害物质的废气进入大气中，足以达到对人体、动物及植物产生危害，这就是大气污染。

大气污染物的种类概括起来可分两大类：一类为有害气体，以气体状态存在于大气中，如二氧化硫、一氧化碳、氟化氢、硫化氢、碳化氢等等；一类为灰尘烟雾，它们都以固体或液体微粒悬浮在空气中，如煤烟、煤尘、水泥和金属粉尘、光化学烟雾等。这些污染物主要

来自工业生产和居民生活用的燃料的燃烧，以及工业生产过程中的排尘、排气和运输工具排出的废气等。据统计，全世界每年排放的有害气体总量达 6×10^8 吨之多（表 1-2）。

表 1-2 世界每年排放有害气体总量^①

污 染 物	污 染 源	排放量 (10^8 t)
煤 粉 尘	烧煤设备	1.00
二 氧 化 硫	烧煤、烧油设备	1.46
一 氧 化 碳	汽车、工厂设备在燃烧不完全时	2.20
二 氧 化 氮	汽车、工厂设备在高温燃烧时	0.53
碳 氢 化 合 物	汽车燃烧设备和化工设备	0.88
硫 化 氢	化工设备	0.03
氨	工厂废气	0.04

① 参见潘树荣等编：《自然地理学（二版）》，高等教育出版社，1985年。

大气污染一般可分二类：一类是污染物因其性质、浓度及时间等因素而造成危害的直接污染；另一类是因污染物之间相互作用以及污染物与大气正常成分发生反应，或因太阳光引起光化学反应而使污染物变质，从而产生新的污染物。

大气的污染程度不仅与废气排放量有关，而且与气象状况也有关。如1952年伦敦发生的光化学烟雾事件，就是因为烟雾形成后，伦敦上空为高压控制，有逆温层存在，使大气稳定，烟雾笼罩持续四天之久，导致数千人死亡。世界其他地方也有过几次类似的事件，其当时的天气状况，都基本相同。显然，当大气层十分稳定，尤其是存在逆温现象时，会阻碍污染物的扩散，导致有毒气体浓度加大，从而危害人体、动植物或腐蚀器物等。随着工业的发展，大气污染问题已引起世界各国的重视。

目前，解决大气污染问题的措施有：建立监测网，进行污染预报；通过集尘器和清洗器在排放前清除污染物质；发展无烟工厂的闭合工艺过程以及合理布局工业等。造林绿化也是保护环境，净化空气，防止大气污染的重要措施。

第二节 大气的结构

一、大气的上界

大气的总质量为 5.27×10^{15} 吨，相当于地球质量 (5.98×10^{21} 吨) 的百万分之一。假如它的上层、下层密度相等，那么它分布的高度仅 8 公里。但实际上，大气随着高度的增加愈来愈稀薄，人们在生活中也可感到，愈往高处愈感到呼吸困难。大体上说，5 公里以下空气占有大气总质量的 50% (图 1-1)^①，10 公里以下占 75%，20 公里以下占 95%，其余 50% 的空气散布在 20 公里以上的高空。再往高处，地球大气就和星际气体（分布在宇宙中各个星体

① R·G·巴里，R·J·乔里著，施尚文等译：《大气·天气和气候》，高等教育出版社，1984年。

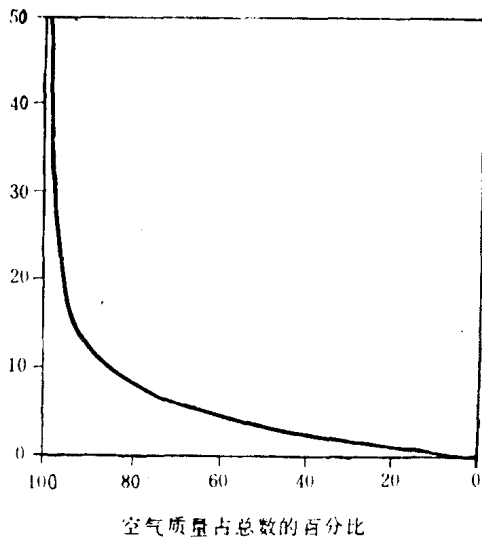


图 1-1 80公里以下不同高度空气质量占大气总质量的百分比

之间密度极小的、类似气体的弥漫物质) 联接起来了。这就是说, 地球大气的上界是模糊的, 在地球大气和星际气体之间并不存在一个截然的界限。虽然如此, 人们还是可以通过物理分析, 给大气划定一个大致の上界。对大气上界的划定, 由于着眼点不同, 所得的结论也不同。通常有以下两种划法: 一种是着眼于大气中出现的某些物理现象来估计大气的上界。根据观测资料, 在大气中极光是出现高度最高的物理现象, 它可出现在1200公里的高度上, 因此, 可以把大气的上界定为1200公里。这种根据在大气中才有而星际空间中没有的物理现象确定的大气上界, 称为大气的物理上界。另一种是着眼于大气密度接近

于星际气体密度的高度来估计大气的上界。按照人造卫星探测资料推算, 这个上界大约在2000—3000公里的高度上。

二、大气的垂直分层

二十世纪以来, 特别自五十年代以后, 遥测设备不断发展, 用无线电探空仪、火箭及人造卫星等收集和积累了不少高空大气的资料。根据大气温度的垂直分布、水汽的分布、扰动程度、电离现象等特征, 一般将大气分为五层(见表1-3及图1-2)。

表 1-3 大气中各层的名称和高度(km)

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
暖 层	85—(600—800)		
逸 散 层	>800		

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

对流层是大气的最底层。其下界为地面, 上界则随纬度和季节等因素而变。就其上界的高度随纬度的变化而言, 在低纬度地区, 平均为17—18公里; 中纬度地区平均为10—12公里;

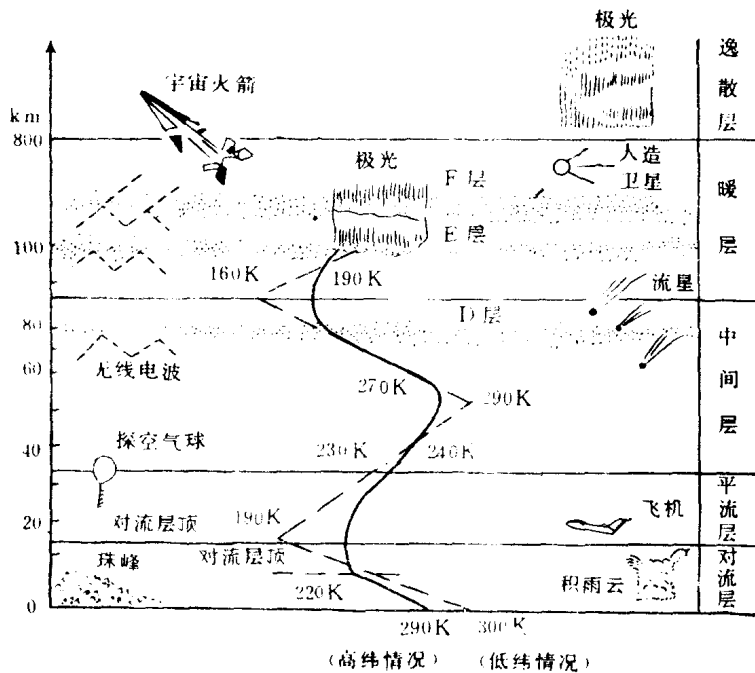


图 1-2 大气的垂直分层^①

极地平均为 8—9 公里。就季节而言，夏季上界的高度大于冬季。

对流层中集中了 75% 的大气质量和 90% 以上的水汽质量，主要的天气现象如云、雨、雷电等都发生在这一层。此层有三个最主要的特征：

1. 气温随高度的增加而降低。这是因为，对流层空气增热主要依靠地面的长波辐射，愈近地面，空气受热愈多，反之愈少。平均每上升 100 米气温下降 0.65°C 。当然，在个别情况下，在某个层次内温度不随高度而下降，甚至随高度的增大而升高的情形也是有的。

2. 具有强烈的对流运动。这是由于地面不均匀加热所引起的。通过这种对流运动，使高层和低层的空气进行交换，近地面的热量、水汽和其他杂质能向高层输送，这对于兴云致雨有着重要作用。在近赤道地区，对流发展旺盛，所及高度大，对流层厚度也大；反之，在近极地区域，对流较弱，所及高度小，对流层厚度也较低。

3. 天气现象复杂多变。由于对流层中空气有垂直对流和水平运动，水汽和杂质含量均多，随着气温变化，可产生一系列的物理过程，形成复杂的天气现象。有时晴空万里，有时乌云密布，有时狂风暴雨……，这一切都发生在对流层内。因此，对流层与地表自然界和人类关系最为密切。

另外，在对流层内温度和湿度在水平方向上的不均匀性也最为显著。这是由于地面的海陆分布和地形等不均匀性对大气的影晌所致。

对流层内部根据温度、湿度和气流运动，以及天气状况诸方面的差异，通常划分为三个小层。

1) 下层：底部和地表接触，上界大致为 1—2 公里，随季节和时间而有所变化。一般

^① 潘树荣等编：自然地理学（二版），高等教育出版社，1985年。

夏季高于冬季，白天高于夜间。下层的特点是：水汽、杂质含量最多，气温的日变化大，气流运动受地表摩擦作用强烈，空气的垂直对流、湍流明显，故下层通常也叫摩擦层或边界层。

2) 中层：下界为摩擦层顶，上部界限大约在6公里左右。中层受地面影响很小，空气的运动代表整个对流层空气运动的一般趋势，大气中发生的云和降水现象多数出现在这一层。此层的上部，气压只及地面的一半。

3) 上层：范围从6公里高度伸展到对流层顶。这一层的水汽含量极少，气温经常保持在 0°C 以下，这里的云都由冰晶或过冷水滴所组成。在中纬度和热带地区，这一层中常出现风速等于或大于30米/秒的强风带，即所谓的急流。

在对流层和平流层之间，还存在一个厚度数百米至1—2公里的过渡层，称作对流层顶。其气温随高度增加而变化很小，甚至没有变化。它对对流层内的对流作用起着阻挡作用。对流层顶的气温在低纬地区平均约为 -83°C ，在高纬地区约为 -53°C 。

(二) 平流层

对流层顶以上是平流层。这一层的主要特点是垂直气流显著减弱，温度随高度的分布由等温分布变成逆温分布；另外水汽和尘埃等很少，云也很少。平流层按温度分布的不同又可细分为两个副层：下层的气温随高度几乎不变，或变化很小，叫同温层，其上界大约离地面35—40公里；上层的气温则随高度而增加，故也叫上部逆温层。平流层的顶界离地面50—60公里。大气中的臭氧到这里逐渐消失，故也叫臭氧顶。由于臭氧对太阳紫外线的强烈吸收，造成平流层上部气温明显增暖，在其上界，气温可达 -3°C — -17°C ，即比对流层顶高出60—70 $^{\circ}\text{C}$ 之多。

平流层的这种温度分布特征，使空气难以对流，一般只能发生水平流动，所以叫做平流层。平流层里水汽很少，云很难形成。但是，在平流层底部，有时能见到一些从对流层向上伸展得特别高的云的顶部，或者一些分散的丝缕般的薄云。在中、高纬度地区的早晨或黄昏，能见到在20—30公里高处的珍珠般色彩的云，叫做贝母云。

平流层受到温度季节交替的明显影响，冬季冷“极夜”平流层会出现“爆发性增温”现象，25公里附近的温度在二天之中会从 -80°C 突然升到 -40°C ，这同晚冬或早春环流变化时的下沉作用有关，而秋季的冷却是一个渐变的过程。

目前，导弹、火箭和飞机进入了平流层，那里的风和空气密度会影响它们的飞行。因此，随着航空、航天事业的发展，对平流层的研究显得愈来愈重要。近代气象学研究表明，平流层对对流层也有影响。例如，平流层大气流动情况的改变可以导致对流层里大范围的天气变化，这一点已经受到气象学家愈来愈大的关注。

平流层的上界也存在着一个过渡层，叫平流层顶，其平均高度在50—55公里。

(三) 中间层

中间层的范围大约从55公里伸展到85公里左右。该层的特点是：气温随高度迅速下降，顶界温度降至 -83°C — -113°C ，即下降了 90°C 左右，于是下暖上凉，再次出现空气的垂直运动。但由于空气稀薄，垂直运动不能与对流层相比拟。该层的80公里高度上，有一个白天出

现的电离层，叫做D层。

(四) 暖层

暖层位于中间层顶至800公里的高度上。这一层空气密度很小，在700多公里厚的气层中，只含有大气总质量的0.5%。据探测，在120公里高空，空气密度已小到声波难以传播的程度；在270公里高空，大气密度约为地面空气密度的一百亿分之一。本层特点是：温度随高度的增加上升很快，到顶部气温可达1000℃以上，这是因为所有波长小于0.175微米的太阳紫外辐射都被暖层气体所吸收的缘故。由于空气密度太小，在太阳紫外线和宇宙射线的作用下，氧分子和部分氮分子被分解为原子，并处于高度的电离状态，所以暖层也叫电离层。根据探测，电离程度相对较强的有高度在100—120公里的E层和200—400公里的F层。电离层受太阳活动影响很大，太阳活动强时电离层也随之加强。电离层具有反射无线电波的能力。电离程度愈强反射无线电波的能力愈强。所以暖层的电离性质是无线电通讯必须考虑的一个因素。

从80公里到暖层顶以上的1000—1200公里的范围内常出现一种大气光学现象——极光。它是由太阳喷焰中发射的高能微粒子与高层大气中的空气分子相撞，使之电离，并在地球磁场作用下偏于两极上空而形成的。对极光的观测是了解高层大气结构的一种较为可靠的手段。

(五) 逸散层

在800公里高度以上称为逸散层，是大气的外层。其上界高度为3000公里左右，是大气层与星际空间的过渡区域，但无明显边界。逸散层中空气极其稀薄，大气质点碰撞频率很小。据研究，这层中气温也随高度的增高而升高。由于温度很高，远离地面，受地心的引力作用小，因而大气质点能不断地向星际空间逸散。

据宇宙火箭资料证明，在地球大气圈外的空间，还围绕由电离气体组成极稀薄的大气层，称为“地冕”。它一直伸展到22000公里的高度。在它以外的星际空间也不是真空，每立方米体积中仍有数十个离子。由此可见，地球大气圈的顶部并没有截然界限，而是逐渐过渡到星际空间的。

第三节 大气的重要物理特性

一、主要的气象要素

表示大气状态的物理量和物理现象，统称气象要素。它包括气压、温度、湿度、风、云、能见度、降水量、日照等，它们表征大气的宏观物理状态，是天气学、气候学研究的基础。下面简要介绍几个主要的气象要素。

(一) 气压

气压是指单位面积上所承受的大气柱的重量。当空气有垂直加速度时，气压值与单位面积上所承受大气柱的重量有一定差别，但在一般情况下，空气垂直运动加速度是很小的，这