

高等学校教材

气象学与气候学

黄润本 黄伟峰 陈明荣 陈世训 编

高等教育出版社

一九八六年

内 容 简 介

本书是根据全国高校地理系开设气象学与气候学的需要，在1979年出版的《气象学与气候学》的基础上修改而成。基本上保持着原版书的结构。在修订版中，编者吸收了国内外的最近研究成果，特别是注意吸收了国内的一些最新资料，充实了内容，调整了部分结构，力求更能结合专业实际。书末还附有各种图表的分析方法和有关数据。此外该书所引用的图表数据均按国家法定计量单位重新作了修正。

本书可供高校地理系有关专业作为教材，亦可供农林、水文、气象和环保等有关专业人员参考。

责任编辑：张月娥

高等学校教材

气象学与气候学

黄润本 黄伟峰 陈明荣 陈世训 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张 17.25 字数 390,000

1986年×月第1版 1986年×月第1次印刷

印数00,001—33,700

书号12010·062 定价 3.25 元

再 版 前 言

《气象学与气候学》是综合性大学地理系的专业基础课。本教材自1980年出版以来，得到广大读者提供许多宝贵意见。为了加强理论基础，进一步提高教材质量，考虑以自然地理专业使用为基础，适当兼顾其他专业的需要，决定对本教材作全面修订。修改版除保留一版的结构和特点外，还吸收了国内外的最近研究成果，特别是注意吸收了国内的一些最新资料，充实了内容，适当调整了部分结构，力求加强基础理论，结合专业实际。有些内容以小字刊印，并增加附录，供教学上选用时参考。

本教材的修订工作由陈世训主持，除作全面审阅外，并修改了绪论。其他各章的修改为第二、三、四章由陈明荣担任，第一、五、六、七、八、九及附录由黄伟峰担任。

这次修订，虽然经过一定的努力，但难免仍有不当之处，敬希读者批评指正。

编 者

1985年6月

前 言

本教材是根据全国高等学校理科地理系《气象学与气候学》教材编写大纲讨论会上所制定的编写大纲编写的。

全书在绪论以下，共分九章。其中第二章《辐射过程》、第五章《大气的运动》和第七章《地表特征对气候的影响》，是分别作为气候形成的辐射因子、环流因子和下垫面因子来处理的，除了阐明有关的物理现象和物理过程外，着重联系这些因子在气候形成中的作用。第八章《热量、水分条件与地理带》，重点介绍表示下垫面热量、水分及其对比关系的气候学计算方法，从而指出如何利用下垫面热量、水分条件以说明地理地带性规律的途径，使学生初步具有这样一种基本概念：热量交换和水分交换是地理环境各成分之间的物质和能量交换过程的基础。第九章《气候分类和气候变迁》，重点介绍了几种分类方法，以说明借助于气候分类，揭示地球上各类型气候分布界限的实践意义；对于气候变迁，主要是使读者认识气候演变的历史，以及影响气候变迁的因子，其中着重指出人类活动对气候的影响，从而说明气候学对规划人类活动具有重要的战略意义。因为本课程是为地理系而设的，其余各章一般都作为气候的组成内容来处理；尤其是第六章《天气》，由于气候是天气变化的背景，在说明问题时是紧密地与气候的概念联系起来的。

以上所述，大致概括了编写本教材的主导思想。既然本教材是以研究气候过程为重点的，因此，在本教材里，理所当然地能量学的内容要多于动力学的内容。在教学过程中，各章内容在份量上，可以根据不同专业需要予以适当取舍；如嫌份量不够，还应斟酌补充一些其他内容。

本教材第一章和第二章分别由兰州大学徐家骝和陈长和编写，第三章和第四章由西北大学陈明荣和贡瑛共同编写，第五章和第六章由中山大学黄伟峰编写，前言、绪论和第七、八、九章由中山大学黄润本编写。最后全书由黄润本、黄伟峰统一校订。

本教材除第八章外，审稿人是南京大学朱炳海、曹琳同志和上海师大张超同志；第八章审稿人是中山大学陈世训同志。陕西师大吕文翰同志，新疆大学买买提-乌斯曼同志和各编写人都参加了审稿工作。本书插图由简易芬、巨凤麟和朱健梧等同志清绘。此外，北京大学刘继韩同志拨冗对本稿进行过审阅等工作，特表谢忱。

本教材错误、遗漏之处是难免的。一本教材需要一再实践，反复修订，才有可能臻于完善。请广大师生通过教学实践提出批评和指正。

编 者

1979年1月

目 录

绪 论	1	二、大气上界的太阳辐射	32
一、气象学与气候学的对象和任务	1	(一) 太阳高度角和可照时间	32
二、大气过程与水圈、岩石圈和生物圈运动变化过程的关系	2	(二) 太阳辐射在大气上界的分布	34
三、气象学与气候学在国民经济中的意义	3	三、太阳辐射在大气中的减弱	37
四、气象学与气候学发展简史	4	(一) 大气对太阳辐射的吸收	37
第一章 大气的基本状况	8	(二) 大气对太阳辐射的散射	37
一、大气的组成	8	(三) 太阳辐射通过大气后减弱的一般规律	37
(一) 大气的组成	8	四、到达地面的太阳辐射	39
(二) 大气中存在的几种主要污染物质	9	(一) 直接辐射	39
二、大气的分层	10	(二) 散射辐射	40
(一) 对流层	10	(三) 总辐射	41
(二) 平流层	12	(四) 对太阳辐射的反射	42
(三) 中间层	13	(五) 地球行星反射率	44
(四) 暖 层	13	五、地面和大气长波辐射	45
(五) 散逸层	14	(一) 地面辐射	45
三、大气的重要物理性质	14	(二) 大气辐射	45
(一) 主要的气象要素	14	(三) 地面有效辐射	46
(二) 状态方程	17	(四) 温室效应	46
四、气压变化	21	(五) 长波射出辐射	46
(一) 大气静力学基本方程	21	六、辐射差额	47
(二) 压高公式	21	(一) 地面辐射差额	47
(三) 气压垂直梯度和单位气压高度差	23	(二) 地-气系统的辐射差额	48
(四) 气压随时间的变化	24	第三章 热力学过程	51
第二章 辐射过程	29	一、地面的增热与冷却	51
一、辐射概述	29	(一) 水陆表面热力情况的差异	51
(一) 辐射光谱	29	(二) 土壤热力过程	52
(二) 基尔霍夫定律	30	二、低层大气的受热和冷却	55
(三) 黑体辐射与温度的关系	31	(一) 大气中热量的传输方式	55
		(二) 气温的日变化和年变化	56
		三、大气升降运动中的热力过程	58
		(一) 热力学第一定律的应用	58

(二) 大气中的绝热过程.....	59	(三) 我国季风的活动及其影响.....	114
(三) 大气层结稳定度的判据.....	63	五、局地环流.....	115
(四) 温度逆增现象.....	67	(一) 海陆风.....	115
第四章 水汽的凝结现象和降水	70	(二) 山谷风.....	116
一、水汽凝结的条件.....	70	(三) 焚风.....	117
(一) 水的三态和各态之间的平衡.....	70	(四) 冽风.....	117
(二) 饱和水汽压.....	71	第六章 天气	119
(三) 水汽凝结的条件.....	74	一、气团和锋.....	119
二、地表面的凝结现象.....	76	(一) 气团.....	119
(一) 露和霜.....	76	(二) 锋.....	120
(二) 雾凇和雨凇.....	77	二、锋面气旋.....	124
三、大气中的凝结现象.....	77	(一) 气旋的发展.....	124
(一) 雾的形成条件和分类.....	77	(二) 锋面气旋的天气.....	127
(二) 云的形成条件和分类.....	79	(三) 东亚的气旋活动.....	128
四、降水.....	84	三、冷高压活动与寒潮.....	130
(一) 降水的种类.....	84	(一) 冷高压活动.....	130
(二) 降水形成的物理过程.....	84	(二) 寒潮天气与寒潮天气过程.....	131
(三) 降水的年变型.....	86	四、中高纬度上空的主要天气系统.....	134
第五章 大气的运动	88	(一) 空中的槽脊.....	134
一、等压面的形势.....	88	(二) 阻塞高压与切断低压.....	135
(一) 等压面和等压线.....	88	(三) 急流.....	136
(二) 等压面形势.....	89	(四) 切变线.....	137
(三) 气压系统的垂直结构.....	91	(五) 低涡.....	139
二、大气中气流的形成.....	92	五、副热带高压与梅雨天气过程.....	140
(一) 作用于空气的力.....	92	(一) 太平洋高压的活动情况.....	140
(二) 地转风与梯度风.....	97	(二) 副热带高压与我国天气.....	140
(三) 摩擦对风的影响.....	101	(三) 梅雨天气过程.....	141
(四) 自由大气中风随高度的变化.....	102	六、台风及其他低纬天气系统.....	144
(五) 气压系统中气流的辐合和辐散.....	105	(一) 台风.....	144
三、大气环流概述.....	107	(二) 赤道辐合带.....	150
(一) 大气总环流图说.....	107	(三) 东风波.....	151
(二) 行星风系.....	108	(四) 热带云团.....	152
(三) 海平面气压场与环流的变化.....	109	七、中小尺度天气系统.....	152
四、季风.....	111	(一) 飑线.....	153
(一) 季风的概念.....	112	(二) 雷暴.....	154
(二) 季风的形成.....	112	(三) 龙卷.....	154

(四) 冰雹·····	155	(一) 蒸发力的确定·····	212
八、天气预报简介·····	155	(二) 水热系数·····	214
(一) 天气图预报方法简介·····	156	四、热量、水分条件与地理地带	
(二) 气象站天气预报方法简介·····	157	性规律·····	216
第七章 地表特征对气候的影响 ·····	160	第九章 气候分类和气候变迁 ·····	220
一、海洋性气候和大陆性气候·····	160	一、气候形成的概念·····	220
(一) 气温年较差·····	160	二、气温和降水的地理分布·····	221
(二) 气温日较差·····	162	(一) 气温的地理分布·····	221
(三) 年温相时·····	162	(二) 降水的地理分布·····	224
(四) 洋流的作用·····	163	三、世界气候分类·····	226
二、地形对气候的影响·····	165	(一) 以气温和降水为基础的分类·····	226
(一) 地形对辐射状况的影响·····	165	(二) 以气团、环流为基础的分类·····	232
(二) 地形对地温和气温的影响·····	169	四、中国气候区划·····	237
(三) 地形对气流的影响·····	170	(一) 赤道季风气候·····	238
(四) 地形对降水的影响·····	172	(二) 热带季风气候·····	238
(五) 山脉对气候的屏障作用及垂直		(三) 副热带季风气候·····	238
气候带·····	174	(四) 暖温带季风气候·····	238
三、小气候·····	176	(五) 温带季风气候·····	238
(一) 小气候的概念·····	176	(六) 寒温带季风气候·····	238
(二) 小气候的特点·····	176	(七) 高原气候·····	238
(三) 小气候的物理基础·····	177	五、气候变迁·····	242
(四) 农田小气候·····	179	(一) 地质时代的气候变迁·····	242
(五) 谷地小气候·····	183	(二) 历史时代的气候变迁·····	245
(六) 森林小气候·····	184	(三) 本世纪以来的气候变迁·····	247
(七) 防护林带、林网小气候·····	185	(四) 气候变迁原因的一些解释·····	250
(八) 城市小气候·····	189	附录一、天气图分析 ·····	254
第八章 热量、水分条件与地理地带性 193		(一) 天气图的种类·····	254
一、热量平衡的气候计算·····	193	(二) 天气图的填绘·····	254
(一) 辐射差额·····	193	(三) 地面天气图分析·····	255
(二) 蒸发耗热·····	198	(四) 等压面图分析·····	258
(三) 地面与大气间的湍流热交换·····	201	附录二、温度-对数压力图分析 ·····	260
(四) 土壤热交换·····	203	(一) 温度-对数压力图的构造和点绘·····	260
二、热量平衡的地理分布·····	207	(二) 温度-对数压力图的应用·····	261
(一) 热量平衡各分量的地理分布·····	207	附录三、气象学常用数据 ·····	263
(二) 地球热量平衡·····	208	附录四、单位换算 ·····	265
三、水热系数·····	212		

绪 论

一、气象学与气候学的对象和任务

自然界的物质不停地在运动变化着，包围着地球的大气层，也时时刻刻发生各种不同的物理现象和过程。风、云、雨、雪、寒、暖、干、湿等现象，都是大气中各种物理过程不断进行的结果。气象学便是论述大气的物理现象和物理过程的科学。大气的化学现象和化学过程也将随观测资料的增多而逐渐成为气象学研究对象中的重要内容。

大气的各种现象，几乎都是由于太阳投射到地球的能量变换而发生和发展的，同时又依赖于大气的物理和化学特性而变化。所以在气象学上，首先把大气当作研究的物质客体来探讨它的一般特性，如大气的范围、结构、成分、密度等；其次是研究各种大气现象的发生和发展的能量来源和特性；再次是研究大气现象的本质，从而解释现象，并总结控制现象发展的规律。

由于气象学所研究的问题很广泛，处理的方法也有差异，所以气象学在发展过程中分成了许多部门。

短时间尺度的大气状态和过程称为天气，研究几小时至几天、几个月内在地理条件不同的区域大气过程的规律，以寻求预测天气变化方法的学科为天气学。长时间尺度的大气状态和过程称为气候，研究一年以上大气过程的规律，记载各个不同地区的气候条件以及解释各该地区气候特征的学科为气候学。天气和气候的概念是紧密联系着的，气候为天气的背景，天气为气候背景上的振动。

从物理学的基本原理出发来研究大气的现象和过程，以及揭露支配它们发展的规律性的学科，称为大气物理学。它包括大气热力学、大气动力学、大气光学、大气电学、大气声学等。其中大气动力学发展比较完善，构成了动力气象学。近年来，从化学的基本原理出发来研究大气现象和过程的大气化学也得到发展。

按地球表面对大气现象和过程影响的程度，可将大气人为地分为三层来研究，因而可以构成三个部门：研究近地面层（约1.5公里以下）大气现象的学科称为近地面层气象学，研究近地面层以上直到100公里高空中的大气现象的学科称为高空气象学，研究100公里以上的大气现象的学科则构成高层大气物理学。

由于贴地气层有限区域里的大气现象和过程，最深刻地影响着地表各种各样的生命活动，近年来又发展出研究这一领域的另一气象学部门，称为微气象学。

此外，面对某些业务部门的需要，气象学还分出了一些专门的部门，如农业气象学、海洋气象学、航空气象学等等。至于研究气象学中所应用的仪器的性能、改良和制造等，有气象仪器学；研究在气象学中应用雷达测量高空风、探测云和降水元素等，则有雷达气象学。

研究无线电穿过大气而传播，以及在气象学中应用无线电有关装备的，又有无线电气象学。

在小地区内地方因素的影响下，可能出现个别的气候特点，这些特点在贴地气层中表现得特别明显，称为该地区的小气候。研究小气候的形成和不同地区小气候特点的气候学部门，称为小气候学。

研究在农业上有意义的各种气候条件，考虑到这些条件和农业生产对象间的相互作用，并从事于地方的农业气候的描述和区域划分，以便最合适而有效地布置农业生产，保证提高农业和畜牧业生产量的各种农业技术措施，这样一个气候学部门，为农业气候学。

研究气候条件对林木的生长、发展和生产率的影响，并研究为森林所覆盖的地域上所造成的小气候，以及植林对邻近地方气候影响的这一气候部门，为森林气候学。

研究天气和气候对于人类有机体的影响有关的各种问题，并研究疗养地的气候情况，以便利用有治疗意义的气候环境来恢复人体的健康，构成了医疗气候学。

研究气候情况对于航空、铁路、水运及其他各种交通事业影响的，为交通气候学。

此外，还有应用确定各种类型天气频度的方法来研究气候的，称为综合气候学；研究那些造成某种类型气候的形成过程，并用一般大气环流过程来解释各种气候的，称天气气候学。

由于各科学部门的相互渗透，以及适应国民经济发展的需要，气象学与气候学还可以分出许多部门。它们都有特定的研究对象和任务，这里不再一一列举。

二、大气过程与水圈、岩石圈和生物圈运动变化过程的关系

从地球表面的构造和物理、化学、生命等现象来看，可以分成大气圈、水圈、岩石圈和生物圈。大气圈包围着整个地球，形成连续的气层。大气圈、水圈、岩石圈和生物圈不是彼此孤立的，而是互相保持密切的依赖关系。

大气圈在陆地与海洋之间水的循环过程中起着巨大的作用。海洋中的水不断蒸发到空中，形成大气降水而降落下来，并且成为地下水和地面水流，经过很长的路程重返海洋，不断地循环。气候条件决定了地区水文网的分布，以及河流、湖泊和沼泽的动态。河流的整个生命和发育是直接受气候影响下进行的。

岩石圈露出在地球表面，始终遭受空气和水分的物理和化学作用的影响，使坚固的岩石发生机械的和化学的风化。属于机械作用的，例如，岩石常在气温反复变化的影响下崩裂；大气降水渗进岩石的裂缝里，甚至发生冻结使坚固的岩石崩解。属于化学作用的，例如，构成岩石的某些物质被水分溶解，顺河水流去以至入海。河水带入海中的溶解物质有碳酸盐、硫酸盐和氯化物等，其中碳酸盐最多，它供给海洋动物和植物消耗，尤其是用于形成动物骨骼、贝壳、珊瑚等等。岩石圈中可溶解的物质不断被带入海洋，使海水含盐分增多。由于岩石圈受大气过程各种作用的影响，便形成土壤覆盖层。大气过程也是形成各种地形的外营力。

气候条件影响着植物覆盖的性质和动物界的分布。气候是植物生长环境的因素之一，这个环境对于植物来说是由热、光、水源构成的。植物从这个环境中攫取它生长和发育所必需

的物质。动物不同于植物，它们所摄取的食物几乎完全是有机物，因此它必须和植物界发生密切的关系。和植物界在不同的气候条件下具有不同的覆盖性质一样，动物界在不同的气候条件下也具有十分多种多样的特征。人类的经济活动，更是随时随地要受到天气和气候的影响。

大气的组成和大气过程的发展演变，也受到水圈、岩石圈和生物圈的影响。例如，天气演变受着许多内在和外在因素的影响，即使在同一天气系统控制下，由于地理位置、地势、植被等的不同，天气变化也会有所差异。气候是由许多自然因素错综复杂的交互作用所形成的，其中辐射能的收支和大气环流起着主要作用。但是这些因素和当地的地理纬度、海拔高度和地表性质有最密切的依存关系。此外，人类活动对天气和气候的影响也很显著。由于矿物燃料燃烧率不断增加，大量污染物质排放到大气中，对太阳辐射、云量、降水量和气温都有影响；大规模农垦和城市扩建，改变下垫面的反射率和水热平衡，对气候也产生明显的效应；人类也可以有意识地对天气和气候进行控制，例如，大规模人工降水，可改变某一地区的水分收支和热量平衡，甚至影响大气的环流。

由此可见，大气过程与水圈、岩石圈和生物圈运动变化过程之间有着密切的内在相互联系、相互制约、相互影响，并处于不断的发展状态中。这些过程构成了一个客观存在的、统一的、有规律的、完整的物质体系，这就是自然界——地理环境。大气过程既然是自然界一个不可缺少的组成部分，因此，学习地理科学，应当研究气象学和气候学。

三、气象学与气候学在国民经济中的意义

气象和气候条件与农业的关系最为密切。利用短期和中、长期的天气预报，可以加强各种农事活动的计划性，例如播种、移栽、收割工作等。比较当前的天气条件和农作物的发育过程就可预测到将来的收成。为了保护农作物，避免或减轻一切不良天气现象，如霜冻、干旱、大风、暴雨等的危害，必须洞悉这些天气现象的发展规律，以及造成这些现象的天气过程的机率，这将有助于找出防止有害天气和气候影响的更有效方法。此外，农业虫害、病害、病毒的发生与气象条件有一定的关系，如能深入地分析彼此间的关系，找出发生的前期气象因子，便可根据这些因子的出现作出虫害或病害、病毒的预报，以便预先安排相应的防治措施。

了解气候条件和各种植物对光、热和水分的需要量，便能合理地解决农业生产布置问题，进行农业区划。根据各地区气候和小气候条件，以及正确地利用农业技术，就有可能扩大现有农作物分布的范围。

航空工作随时都需要气象情报来保证飞行安全。飞机的起飞、飞行和降落，都要参照气象情况来决定。在盛夏的午间，空气密度有时太小，螺旋桨所受的空气阻力小，不能使载重飞机升空，这就影响到空中运输。正在飞行时，若空中有强烈的对流作用，可以使飞机颠簸，以致飞机失去平衡难以操纵。在过冷雨区飞行，可以使飞机发生严重的积冰，改变飞机的动力性能。至于飞机场的选择，决定跑道的方向，非有当地气候资料不可。因此，必须利用气

象学与气候学的知识，提高航空工作的效能。

航海也在很大程度上与天气条件有关。海洋上常有风浪和浓雾，对于航行有很大影响。因此，天气预报要随时供给海上航行的参考，使航海工作避免恶劣天气的危险，减少意外的损失。至于海港工作，对于一年中的风向和风速，雾发生的季节和出现的频率，以及港口在冬季期间的冻结情况等等，都是必须知道的。

强烈的阵雨、风、吹雪和雨淞都会影响陆上交通。特别是大量雨淞会压断电线，折断电杆，使通讯遭受破坏。必须及时发布有关这些恶劣天气的预报，以便事先做好防御工作。此外，还必须研究那些经常出现这些天气现象的区域，编制各种气候的空间分布特性图，例如，关于铁路枢纽地区雪暴和雪堆的分布，暴雨、暴风、雨淞的范围等等。

专门的暴风警报和其他不利的气象条件的预报对沿海渔业活动是很重要的。

水利事业十分需要气象和气候的研究资料。水利部门为了作好水库设计、灌溉工程、防洪、防汛以及洪水预报等工作，就需要可能最大降水、暴雨强度、暴雨机率、暴雨持续时间、暴雨范围、连续降水日数、降水变率、降水周期和蒸发量等统计资料。

城市建设也要利用气象和气候方面的资料。对正确地配置工厂、居住区、公园和建筑物等互相之间的关系上，必须有风向的资料。对于计算高大建筑物，如铁塔、水塔和烟囱等应承受的风压，就必须有风速的数据。计算房顶应承受的雪重时，必须有雪量的记录。设计排水管及其出入口需要液体降水的资料。此外，知道了某一方向的降水次数时，就能采取措施预防房屋墙壁遭受雨水逐渐的破坏。在各个气候带选择房屋的类型，考虑到取暖季节的长短时，需要气温的资料。光的资料也是重要的，因为房屋窗子的安置和栽植街道树种的选择是与照度有关的。

卫生部门也需要气象和气候资料，因为病菌的繁殖与温度的高低、湿度的大小等，有很密切的关系。

浓密的森林，有时会发生火灾，使国家森林资源遭受很大的损失。但森林火灾的发生，常和气象条件有密切关系，最主要的是高温和干燥。如果事先能获得森林可能发生火灾的气象警报，林业部门便可以作出必要的措施，妥为防范。

近代工业的发展，出现大量高密度人口区（城市、工矿区）和机械化、化学化的集约农业，使大气污染问题特别突出。大气污染除了对人的健康有直接和间接影响外，还对一系列有利于人的生物和非生物发生影响。它妨碍植物生长，并危及到鸟类和其他动物的再生能力。为了避免或减少大气污染的危害，必须对大气污染物质扩散规律和转化的气象条件进行研究，并作出大气污染的预报。

四、气象学与气候学发展简史

气象和气候问题很早就为人类所注意了。这是因为人们生活在大气之中，无论是生产活动或日常生活，都会受到天气和气候的影响。随着人类社会生产的发展，气象学与气候学也逐渐发展起来。

我国自周朝以后，许多典籍中都有关于气象和气候知识的记载。例如，《易经》、《书经》、《诗经》、《礼记》、《孙子兵法》、《本草纲目》、《博物志》、《山海经》、《汲冢周书》、《田家五行》等历代史书，以及《楚辞》、唐诗等文学作品，都收集有很多描述天气的内容。所有古代遗留下来的宝贵经验，在《图书集成》一书中集其大成。

在国外，古代的底格里斯河和幼发拉底河流域的楔形文字碑上，也记载许多有关天气的知识。在古希腊，诗人、哲学家和医生有关天气神话和推测各种天气和气候发生原因的知识也是很丰富的。例如，希腊哲学家亚里斯多德（Aristotle）所著《气象学》（约为公元前350年），对于一些天气现象作过适当的解释。又如，希腊医生希波克拉底（Hippocrates）所著《空气、水和地方》（约为公元前400年）是一篇较好的气候志。

查究史料，测量空气湿度、风信和降水量的仪器都是我国最先发明的。我国很早便利用羽毛、木炭等物的吸湿特性来进行空气湿度测量，《淮南子》（约公元前120年）一书就记有比较榆树炭和一盘土的相对重量的办法测量空气湿度，以便预报降水的记载。在西方，则迟至15世纪才用类似方法，比较羊毛和石块的相对重量来测量空气湿度。构造较复杂的测风仪器，最早见于汉代的灵台（观象台，建筑在长安西北8里处），灵台顶上有一只测风的青铜鸟（相风铜鸟），而西方的“候风鸡”直到12世纪才见于典籍。测量降水量的仪器，最早见于秦九韶的《数书九章》（公元1247年），书中有关于雨量筒形状的算题，称为“天池测雨”；当时雪量筒也在使用，这书叫作“竹器验雪”。在西方，一直到1639年才出现用容器收集雨水进行计量的方法。

我国气象和气候的研究虽很早就开始，而且发展很快，但在明初以后就停滞不前了，这是因为提倡用八股取士，束缚了学术思想发展的结果。

大致可以说，从古代到16世纪，气象和气候的研究只限于零碎的定性观察和描述，还谈不到是独立的科学。在17世纪由于工业的发展，推动了自然科学的发展，特别是物理学有显著的成就，较精密的气象仪器相继发明，气象和气候的理论也得到大大提高，使气象学和气候学逐步发展成为独立的科学。

意大利物理学家和天文学家伽利略（Galileo）于1593年发明了温度表；其后，意大利物理学家和数学家托里拆利（Torricelli）于1643年发明了气压表。由于有了温度表和气压表等气象仪器，1653年在意大利北部建立了气象观测站，以后许多国家也相继建立台站。随着全球较广泛的进行气象观测，获得了丰富的资料，气象学与气候学的研究逐步深入。

随着无线电报的发展，使气象观测结果能很快地传达到各地，给予编制和研究天气图以可能性。1860至1865年间天气图迅速发展起来，同时，拜斯-巴罗特（Buys-Ballot）发现风和气压之间的经验关系，从而开展了海平面等压线分布的基本型式与天气的关系的研究。

在十九世纪最后二十五年间，气象学的发展颇为迅速。1878年利（Ley）根据8000次卷云状的云移动的观测记录作为气旋经验模式，给出了锋面低压三度空间结构的实质，想象冷锋是冷空气楔侵入暖空气。1879年苏本（Supan）出版了第一幅世界温度分布图；1882年卢米斯（Loomis）出版了用等雨线表示的世界降水量分布图；1883年泰塞伦克（Teisserenc）作出第一幅显示季节性的反气旋和气旋的平均气压图，其中的“活动中心”成了研究大气总

环流的基础。汉恩(Hann)出版了《气候学手册》(共三卷),一卷出版于1883年,是普通气候学,随后出版的二卷是区域气候学。19世纪末叶,在小范围里开始了高空探测的高空气象学。例如,泰塞伦克和阿斯曼(Assmann)在欧洲,罗奇(Rotch)在美国,都进行了高空探测。

从本世纪初期开始,气象学已成为一门物理的科学。由于有了坚实的理论基础,气象学发展很快。特别着重指出的是1920年前后,贝坚克尼父子(V. Bjerknes和J. Bjerknes)和索尔伯格(Solberg)、伯杰龙(Bergeron)等发现了暖锋和气旋锢囚过程,并明确地论述了气旋形成的著名极锋学说。

在本世纪50年代以前,还可以列举两项重大成就:一是1937年到40年代初,罗斯贝(Rossby)和拜尔斯(Byers)、纳米亚斯(Namias)等通过研究大气总环流,发现了长波理论,使气象学由二度空间真正发展成为三度空间的科学;一是30年代伯杰龙-芬得生(Bergeron-Findeisen)研究的冰晶与过冷水共存的云中雨滴形成过程的理论,这个理论为人工影响局部天气奠定了基础。1947年,他又发现干冰和碘化银掉入云的过冷区中可以产生大量冰晶,为人工影响冷云降水的具体实施提供了实际途径。同时,还发现热带区暖云(0℃以上)中,由于大小水滴发生碰并也同样会增大雨滴,这就为人工播撒大小水滴或盐粒影响暖云降水奠定了理论基础。

与此同时,气候学也有长足的进步。例如,1918年柯本以陆地植被为基础,作出详尽的世界气候分类。1930—1940年间,柯本和盖格(Geiger)出版了五卷《气候学手册》。小气候领域于1917年第一次由盖格详细勾划出轮廓。1942年雅各布斯(Jacobs)发展了天气气候学。

本世纪50年代以后,气象学与气候学的发展更为迅速。其发展大致有以下三个特色:第一是开展大规模的观测实验。由于观测系统有了激光、雷达、人造地球卫星,开展了大规模的综合遥测、遥感,使得几小时的短期灾害性天气预报不再是纯预报问题,而变成了对实况的跟踪加预报。技术的进步促进了基础理论的发展,如现在已能把大气环流基本状态和它的季节变化模拟出来,从而对它有了更深入的理解。探测技术的发展还促进了光和辐射等在大气中传播规律的基础研究;第二是利用电子计算机,对大气现象定量地进行数值模拟试验,使气象科学能进入定量地深入研究各种大气物理过程的新阶段;第三是把大气作为一个整体进行研究,把对流层与平流层,中、高纬度与低纬度,南半球与北半球结合起来进行研究。同时,也更注意海洋与陆地表面的物理性质对天气和气候的影响,以及气候变迁问题。此外,还愈来愈注意人类活动对气候的影响。

1743年(乾隆8年)法国传教士高比(Gaubil)在北京设立的测候所,是我国境内用近代气象仪器进行测候的开始。1911年后,我国在北京成立中央观象台。1927年后,在南京中央研究院设置气象研究所。抗日战争期间,1941年在重庆成立中央气象局。直到新中国成立前夕,我国还没有一个像样的气象台站网,也没有一套完整的气象服务系统。全国从事于气象学和气候学研究的人数很少,发表的论著也不多。在这期间,竺可桢研究了我国的区域气候、季风强弱和雨量的关系、台风的频率、我国历史上的气候变迁、地面大气的运行等。涂长

望修订了竺可桢的气候分区，研究了我国的气团和锋面，并应用相关系数来研究夏季旱涝等。赵九章研究过有关信风主流热力学方面的问题等。

新中国成立以来，气象学与气候学的研究有了较大进展。全国各地普遍建立各级台站，地面和高空气象测报网已基本建成。气象服务站星罗棋布，服务工作深入到全国各个角落。特别是结合农业的需要，促进了我国具有独创性的县站预报的建立和发展。在基础理论方面，如大气环流和动力气象等；在天气气候方面，如中国天气、东亚季风、高原气象、热带气象等；在卫星气象方面，如甚高分辨云图接收器的研制、卫星气象学和探测原理的研究；在人工影响天气方面，如云雾物理、人工消雹和人工降水等；所有这些方面，都广泛开展了研究，并取得了很好的成绩。

当前世界比较先进的国家如美国、日本、苏联等，对大气科学研究的趋向大致着重在三方面：

一为中小尺度天气系统，以灾害性天气为重点，对于资料收集、分析和预报等方面逐渐走向自动化和定量化，从而能比较细致地分析天气系统的结构；

二为气候变化，对全球及国家范围的气候资源进行广泛的调查研究，利用卫星绘制各种气候资源分布图，关注气候变化，估计长期和短期气候变化趋势。随着气象卫星的应用，气候资料大量增加，用电子计算机进行快速处理也得到发展。七十年代以来，气候学已突破只从大气的角度研究气候的限制，而扩大到考虑大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈及生物圈所组成的气候系统，向着更广泛、更综合的方向发展；

三为大气物理和大气化学有了进一步的发展，进行了人工降水的试验，特别重视城市污染、酸雨、对流层化学、平流层臭氧等方面的研究。

第一章 大气的基本状况

一、大气的组成

(一) 大气的组成

大气是由多种气体混合组成，按其成分可以概括成三类：干空气、水汽和气溶胶粒子。

1. 干空气：干空气以氮、氧、氩最多，其容积含量占全部干空气的99.97%，其余各种气体如二氧化碳、氦、氙、氪和臭氧等的总含量则不超过0.03%。干空气的分子量为28.966，这个值与大气中含量最多的氮的分子量28.016很接近。

表1-1中列举了高度在25公里以下的干空气成分，其中二氧化碳的含量为0.02~0.04%。臭氧含量则随高度而有较大的变化，但因它们含量少，对空气的总成分影响不大。观测证明，各主要气体的百分比直到100~120公里的高度还保持不变，这主要是由于空气的垂直混合运动造成的。除表中所列的气体外，干空气中还存在含量极少、变化很大的一些化合物，如二氧化硫(SO₂)、一氧化碳(CO)、双氧水(H₂O₂)和氮的氧化物(NO₂、NO、N₂O₄、N₂O₅)等。

表 1-1 干空气的组成 (高度在25km以下)

气 体	干空气中的含量(%)		分 子 量	临界温度 (°C)	临界压强 (大气压单位)	沸 点 温 度 (在760mm压力下)
	按 容 积	按 质 量				
氮(N ₂)	78.09	75.52	28.016	-147.2	33.5	-195.8
氧(O ₂)	20.95	23.15	32.000	-118.9	49.7	-183.1
氩(Ar)	0.93	1.28	39.944	-122.0	48.0	-185.6
二氧化碳(CO ₂)	0.03	0.05	44.010	31.0	73.0	-78.2
氦(He)	1.8×10 ⁻³	—	20.183	-228.0	26.0	-246.0
氖(Ne)	5.24×10 ⁻⁴	—	4.003	-257.9	2.3	-268.6
氪(Kr)	1.0×10 ⁻⁴	—	83.700	63.0	54.0	-152.0
氙(Xe)	5.0×10 ⁻⁵	—	2.016	-210.0	12.8	-252.5
臭氧(O ₃)	8.0×10 ⁻⁶	—	131.300	16.6	58.2	-198.6
氡(Rn)	1.0×10 ⁻⁶	—	48.009	-5.0	92.3	-111.1
干空气	6.0×10 ⁻¹⁸	—	222.000	—	—	-62.0
干空气	100	100	28.966	-140.7	37.2	-183.0

注：干空气中CO₂的含量也有采用0.027%（按容积）和0.045%（按质量）的。

从表1-1中所列临界温度、临界压强和沸点温度的数据可以看出，在自然界大气的温度和压力条件下，干空气的所有成分都处于气态，而且都离开液化的程度很远，因此可以把干空气整个都看成是理想气体。

在干空气中以氮、氧、二氧化碳和臭氧为最重要，这里简述如下。

氮是大气中最多的气体，约占干空气质量的75%，它是地球上生命体的基本成分，是工业上用的硝酸、农业上用的氮肥的一个重要成分。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。

氧是大气中次多的气体，约占干空气质量的23%，动、植物的生长都少不了它。在大气中进行各种化学变化时，氧通常起着重要作用。

二氧化碳是植物进行光合作用的重要原料。它能强烈地吸收和放射长波辐射，其含量的增减影响地面和大气温度的变化，故在大气中含量虽然很少，却具有很重要的意义。

臭氧主要集中于较高的一层大气中，地面含量很少，自5—10公里高度起，含量逐步增加，在20~25公里处达到最大浓度，形成明显的臭氧层；此后又逐渐减少，一直到55~60公里的所谓“平流层顶”时渐趋消失。臭氧虽然含量极少，但却对大气现象和生物活动起着很大的作用。特别是臭氧吸收了波长0.22~0.32 μm 的太阳紫外线，这部分紫外线对生物机体有很大危害，所以臭氧层对于地球上动植物的生存有保护作用。在40~55公里上空，由于空气密度小，臭氧层强烈吸收太阳紫外线，使气温明显增高。

2. 水汽：包含水汽的空气，又叫湿空气。水汽在空气中的含量虽少（按容积为0~4%），但对天气变化起着很大作用。在大气实际的温度和压力条件下，水汽是能从气态~液态~固态之间相互转化的唯一的一种气体成分。也就是说，它可以凝结成水滴或直接凝华成冰晶，或由水滴冻结成冰粒，从而造成云、雾、雨、雪、霜、露等一系列大气现象；反之，降水物落到地面后，又可以蒸发成为水汽。由于蒸发要吸收空气的热量，凝结时则把热量放给空气，因而在转化过程中，不仅会引起大气中湿度的改变，而且还引起热量的转化。同时，水汽又具有很强的吸收长波辐射的能力，对于地面的保温起着重要的作用。

3. 气溶胶粒子：所谓气溶胶粒子是指悬浮在气体中的固态或液态的粒子。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（云、雾即是由微小的水滴或冰晶所组成的），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所产生的宇宙灰尘；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留下的盐粒；有的是火山喷发后留在空中的火山灰；有的是由细菌、动物呼出的病毒、植物花粉等所组成的有机灰尘等等。气溶胶粒子对于大气中的各种物理现象和过程也有重要影响，例如，削弱太阳辐射，在大气中形成各种光学现象，影响大气能见度等。气溶胶粒子与水汽凝结也有着重要关系，有些粒子（例如盐粒）就是良好的凝结核。

（二）大气中存在的几种主要污染物质

大气污染物的种类还没有确切的统计，但对人类危害较大并已被人们注意的约有100种左右，下面介绍几种大气中常见的污染物质。

1. 尘粒：尘粒是指以固体或液体微小颗粒形式，存在于气体介质中的分散体。颗粒直径大于10 μm ，能很快落到地面的叫降尘。10 μm 以下的颗粒，可在几小时甚至几年时间内飘浮在空气中，此种尘粒叫飘尘。

大气中尘粒增多后，将使混浊度增加，增大对太阳辐射的反射作用，并相应地减少到达地球表面的太阳辐射能。

2. 气体污染物：常见的气体污染物，可分为硫化物、氮化物、碳化物、碳氢化物、氧化剂等，见表1-2。

表 1-2 大气中常见的气体污染物

硫化物	SO_2 、 SO_3 、 H_2SO_4 、 H_2S 等
氮化物	NO 、 NO_2 、 NH_3 等
卤化物	Cl_2 、 HCl 、 HF 等
碳氧化物	CO 、 CO_2 等
氧化物	O_3 过氧酰基硝酸酯 (PAN)等

当前，普遍被列入空气质量标准（大气卫生标准）的污染物，除尘粒外，主要有 SO_2 、 NO_2 、 CO 、 CO_2 和 O_3 等气体。

二氧化碳(CO_2)在自然界随着绿色植物的消耗量和土壤中的排出量而变化，保持着一定的水平，大约占空气容积的0.03%。但由于人为活动的影响，化石燃料燃烧量的增加，其含量也在增加。它虽属常见气体，但在环境保护中却受到重视。其原因一方面是在大气中含量增高以后，会降低氧的相对含量，影响人们的呼吸；另一方面是近百年来它在大气中的含量逐年增加，影响到了大气的热量平衡，产生所谓“温室效应”。

氮的氧化物主要是指一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)，两者对人类呼吸器官都有毒性，而 NO_2 的毒性为 NO 的4~5倍。它们在光化学烟雾的形成中起着很大的作用。氮的氧化物主要的天然来源是土壤，人为来源主要是由重油、汽油、天然气等各种燃料在高温下完全燃烧而产生的。近年来由于在土壤中大量投入氮肥也能使大气中的 NO_2 有所增加。

臭氧(O_3)在大气中含量甚微，但它是一种强氧化剂，可使空气中多种污染物质氧化，例如， SO_2 在 O_3 作用下会变成 SO_3 ，以致产生酸雨。一氧化氮在臭氧作用下产生二氧化氮，可产生酸雾。同时，臭氧也是光化学烟雾中重要的污染物质之一。

二氧化硫(SO_2)主要来自燃料燃烧，它在自然界中是比较活跃的物质，容易变化。当 SO_2 溶解在雾或云的小滴中，会生成 H_2SO_3 ，又很快与 O_2 作用而成 H_2SO_4 。人为的 SO_2 和 SO_3 释放到大气中，经过一系列化学反应，会转化为硫酸盐，从而对人体的呼吸道产生危害。

二、大气的分层

大气中气象要素的分布，无论在垂直方向或水平方向，都是不均匀的。根据大气温度和水汽的垂直分布、扰动程度、电离现象等不同性质，可将大气圈划分为对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层（图1-1）。

（一）对流层

对流层是大气圈最低的一层，厚度比其他各层都薄。由于对流程度在热带要比寒带强烈，