

高等学校试用教材

气象学与气候学

中山大学
兰州大学 地理系合编
西北大学

人民教育出版社

高等学校试用教材

气象学与气候学

中 山 大 学
兰 州 北 大 学
西 北 大 学
地 理 系 合 编

人民教育出版社

高等学校试用教材

气象学与气候学

中山大学

兰州大学 地理系合编

西北大学

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 16 页 字数 360,000

1979年6月第1版 1982年9月第4次印刷

印数 12,201—16,200 册

书号 12012·010 定价 1.20 元

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

- 一、气象学与气候学的对象和任务 (1)
- 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)
- 三、气象学与气候学在国民经济中的意义 (3)
- 四、气象学与气候学发展简史 (5)

第一章 大气的基本状况

- 一、大气的成分 (8)
 - 1. 低层大气成分 (8)
 - 2. 臭氧 (9)
 - 3. 高层大气成分 (10)
 - 4. 大气污染问题 (10)
- 二、大气的分层 (11)
 - 1. 对流层 (11)
 - 2. 平流层 (12)
 - 3. 中间层 (13)
 - 4. 暖层 (14)
 - 5. 散逸层 (14)
- 三、大气的重要物理性质 (15)
 - 1. 主要的气象要素 (15)
 - 2. 状态方程 (17)
- 四、气压变化 (21)
 - 1. 大气静力学基本方程 (21)
 - 2. 压高公式 (21)
 - 3. 气压垂直梯度和单位气压高度差 (23)
 - 4. 等压面和等压线 (24)
 - 5. 气压随时间的变化 (26)

第二章 辐射过程

- 一、辐射概述 (30)
 - 1. 基尔霍夫定律 (31)
 - 2. 黑体辐射 (32)
- 二、大气对太阳辐射的作用 (33)
 - 1. 太阳辐射 (33)
 - 2. 太阳辐射通量在大气上界的分布 (33)
 - 3. 大气对太阳辐射的吸收 (35)
 - 4. 大气对太阳辐射的散射 (36)
 - 5. 太阳辐射通过大气后的一般削弱 (36)
- 三、到达地面的太阳辐射能 (37)

- 1. 直接辐射 (37)
- 2. 散射辐射 (38)
- 3. 总辐射 (39)
- 4. 对太阳辐射的反射 (40)
- 5. 地球行星反射率 (41)
- 四、地面和大气长波辐射 (42)
 - 1. 地面辐射 (42)
 - 2. 大气辐射 (42)
 - 3. 地面有效辐射 (43)
 - 4. 长波射出辐射 (44)
- 五、辐射差额 (45)
 - 1. 地面辐射差额 (45)
 - 2. 地气系统的辐射差额 (45)

第三章 热力学过程

- 一、地面的增热与冷却 (48)
 - 1. 水陆表面热力情况的差异 (48)
 - 2. 土壤热力过程 (49)
- 二、低层大气的受热和冷却 (52)
 - 1. 热的传播方式 (52)
 - 2. 蒸发的作用 (53)
 - 3. 气温的日变化和年变化 (54)
- 三、大气升降运动中的热力过程 (56)
 - 1. 热力学第一定律的应用 (56)
 - 2. 大气中的绝热过程 (57)
 - 3. 大气层结稳定度的判据 (62)
 - 4. 温度逆增现象 (65)
- 四、热量平衡的地理分布 (67)
 - 1. 地球热量平衡图解 (67)
 - 2. 热量平衡各分量的地理分布 (69)

第四章 水汽的凝结现象和降水

- 一、水汽凝结的条件 (73)
 - 1. 水的三态和各态之间的平衡 (73)
 - 2. 饱和水汽压 (74)
 - 3. 水汽凝结的条件 (77)
- 二、地表面的凝结现象 (79)
 - 1. 露和霜 (79)
 - 2. 雾凇和雨凇 (80)
- 三、大气中的凝结现象 (80)

1. 雾的形成条件和分类	(80)
2. 云的形成条件和分类	(82)
四、降水	(87)
1. 降水的种类	(87)
2. 降水的成因	(88)
3. 降水的年变型	(90)

第五章 大气的运动

一、等压面的形势	(92)
1. 等压面形势的概念	(92)
2. 气压系统的垂直结构	(93)
二、大气中气流的形成	(94)
1. 作用于空气的力	(94)
2. 地转风与梯度风	(100)
3. 摩擦对风的影响	(102)
4. 自由大气中风随高度的变化	(103)
5. 气压系统中气流的辐合和辐散	(105)
三、大气环流概述	(106)
1. 大气总环流图说	(106)
2. 行星风系	(107)
3. 环流的变化	(109)
四、季风	(110)
1. 季风的形成	(111)
2. 我国季风的特点及其影响	(112)
五、局地环流	(114)
1. 海陆风	(114)
2. 山谷风	(115)
3. 焚风	(115)

第六章 天气

一、天气图	(116)
1. 天气图的种类	(116)
2. 天气图的填绘	(116)
3. 地面天气图分析	(117)
4. 等压面图分析	(119)
二、气团和锋	(121)
1. 气团	(121)
2. 锋	(122)
三、锋面气旋	(125)
1. 气旋的发展	(126)
2. 锋面气旋的天气	(128)
3. 东亚的温带气旋活动	(129)
四、冷高压活动与寒潮	(130)
1. 冷高压活动	(130)
2. 寒潮天气与寒潮天气过程	(132)
五、中高纬上空的主要天气系统	(135)

1. 阻塞高压与切断低压	(135)
2. 急流	(136)
3. 切变线	(137)
4. 低涡	(138)
六、副热带高压与梅雨天气过程	(139)
1. 太平洋高压的活动情况	(139)
2. 副热带高压与我国天气	(140)
3. 梅雨天气过程	(141)
七、台风及其他低纬天气系统	(143)
1. 台风	(143)
2. 赤道辐合带	(148)
3. 东风波	(149)
4. 热带云团	(150)
八、中小尺度天气系统	(150)
1. 飚线	(151)
2. 雷暴	(152)
3. 龙卷	(153)
4. 冰雹	(154)
九、天气预报简介	(155)
1. 天气图预报方法简介	(155)
2. 气象站天气预报方法简介	(157)

第七章 地表特征对气候的影响

一、海洋性气候和大陆性气候	(161)
1. 气温年较差	(161)
2. 气温日较差	(162)
3. 年温相时	(163)
4. 洋流的作用	(163)
二、地形对气候的影响	(166)
1. 地形对辐射状况的影响	(166)
2. 地形对地温和气温的影响	(170)
3. 地形对气流的影响	(172)
4. 地形对降水的影响	(173)
5. 地形对植物分布和物候季节的影响	(175)
三、小气候	(177)
1. 小气候的物理基础	(177)
2. 农田小气候	(188)
3. 谷地小气候	(191)
4. 森林小气候	(193)
5. 防护林带、林网小气候	(194)
6. 城市小气候	(197)

第八章 热量、水分条件与地理带

一、热量平衡的气候计算	(199)
1. 辐射差额	(199)
2. 蒸发耗热	(203)

3. 土壤中的热量转换	(204)	1. 气温的地理分布	(217)
4. 热量平衡有关分量的对比关系	(206)	2. 降水的地理分布	(219)
二、水热系数	(206)	三、世界气候分类	(221)
1. 空气饱和差资料的应用	(207)	1. 以气温和降水为基础的分类	(221)
2. 气温资料的应用	(208)	2. 以气团、环流为基础的分类	(225)
3. 辐射差额资料的应用	(210)	四、中国气候区划	(232)
4. 热量平衡资料的应用	(211)	五、气候变迁	(237)
三、地理地带性规律	(213)	1. 地质时代的气候变迁	(237)
第九章 气候分类和气候变迁			
一、气候分类的概念	(216)	2. 历史时代的气候变迁	(240)
二、气温和降水的地理分布	(217)	3. 本世纪以来的气候变迁	(243)
		4. 气候变迁原因的一些解释	(244)

绪 论

一、气象学与气候学的对象和任务

自然界不停地在运动变化着。包围着地球大气层，时时刻刻发生各种不同的物理过程和物理现象。风、云、雨、雪、寒、暖、燥、湿等等现象，都是大气中各种物理过程不断进行的结果。气象学便是专门论述关于地球大气中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有了多年的观测和总结，特别是近年有关大气污染的监测，更促进了大气化学现象和化学过程的研究。但是，到目前为止，大气的物理现象和物理过程仍是气象学的主要研究对象。

大气的物理现象，几乎都是由于太阳投射到地球的能量变换而发生和发展变化的。同时，大气中各种物理现象的发生和发展，在很大程度上依赖于大气的物理特性。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、密度等等；其次是研究各种大气现象的发生和发展之能量的来源和特性；最后，要详细研究大气现象的本质，从而能够解释现象，并总结控制现象发展的规律。

由于气象学的范围很广泛，不同问题的研究方法也有一定差异，所以气象学在发展过程中分成了许多部门。

某一瞬间大气的状态和大气现象的综合称为天气。研究地理条件不同的区域内所发生的大气过程的规律，以寻求预测天气变化方法的学科便是天气学。

从物理学方面来研究大气的现象和过程，揭露支配它们发展的物理定律，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、大气声学等等。其中大气动力学部分，发展比较完善，构成了动力气象学。

如按地球表面对大气物理现象和物理过程影响的程度，将大气人为地分为三层，作为研究对象，因而构成了三个气象学部门：把研究发生于近地面层（约1500米以下）大气的物理现象和过程的部门，称为近地面层大气物理学；在近地面层之上，直到约100公里高空中的物理现象和过程的研究，称为高空气象学，或称为自由大气物理学；100公里以上高层大气的现象和过程的研究，则构成高层大气物理学。

由于贴地气层有限区域里大气的物理现象和过程，最深刻地影响着地表各种各样的生命活动，不少学者长期对此作了颇有成效的研究，因而又发展为另一气象学部门，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，又有无线电气象学。

气候的概念是和天气的概念紧密地联系着的。在太阳辐射、下垫面和大气环流的影响下形成的天气的多年综合状况,称为气候。气候学便是研究气候的形成过程和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一门科学。显然,研究气候学首先必须掌握气象学知识。因此,气象学是建立和发展气候学的一个主要基础。

在小地区内地方因素的影响下,可能出现个别的气候特点。所有这些气候的地方性特点统称为该地区的小气候。这些特点在贴地气层中表现得特别明显。研究小气候的形成,并描述和阐释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,同时也便于采用那些最能和地方气候相适应的,而且最能保证使农作物获得高额而可靠的收成,保证提高畜牧业生产量和成功地营建护田林带的各种农业技术措施,这样一个气候学部门即为农业气候学。

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的影响,这一气候部门,称为森林气候学。

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的影响,这一气候学部门,称为交通气候学。

此外,还有综合气候学和天气气候学。综合气候学是应用确定各种类型天气频度的方法来进行研究,这些类型是根据气象要素的一定配合来表示的。天气气候学是研究那些造成某种类型气候的气候形成过程,它特别重视环流因素,并用一般大气环流过程来解释各种气候;当然,它也考虑到太阳辐射和下垫面的影响。

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,这里不再一一枚举。

二、大气过程与水圈、岩石圈和生物圈运动变化过程的关系

地球表面的构造和物理、生命现象,可以分成大气圈、水圈、岩石圈和生物圈来进行研究。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的岩石,始终遭受空气和水分的物理的和化学的影响,使坚固的岩石发生机械的和化学的风化。属于机械风化作用的,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。属于风化作用的,例如构成岩石的

某些物质被水分溶解,把原来岩石分为不溶解的存在地面的残积物质和可以溶解的顺河水流去,由河入海。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。由于海洋与陆地间水的不断循环,岩石圈中可以溶解的物质也不断被带入海洋,海水之所以含盐分多的原因就在于此。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。大气过程也是各种地形的营力。

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。如果外界环境条件发生变化,那末在这些变化影响之下,植物便会获得新的特性,而且这些特性可以遗传下去。动物不同于植物,它们所摄取的食物几乎完全是有机物,因此非常明显,动物界就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。这无论在天气过程或气候形成中,都可见到。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;而为了学好气象学和气候学,也必须研究有关的地理学科。

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,以及与这些现象有关的天气综合和造成这些现象的天气过程的机率,这不仅能提高预报效果,并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,找出虫害、病害、病毒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,便能最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,例如,解决热带和副热带农作物向北推移的问题。

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,以致飞行失去平衡难以操纵。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。至于机场的选择,决定跑道的方向,非有当地气候资料不可,例如在西南风盛行的地方,机场跑道呈西南-东北向就更为适宜。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。海洋上常常有风浪的侵袭,浓雾对于航行也有很大的障碍。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,年中的风向和风速,雾发生的季节和雾出现的频率,以及港口在冬季期间的冻结情况等等,也都是必须知道的。

强烈的阵雨、风、吹雪和大量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量,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在街道上的树种的选择是与照度有关的。

卫生行政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,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,伴随着发生了三废排放和污染问题。其中大气污染问题是特别突出的。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无生物发生影响。它妨碍植物生长,并通过植物转化扩大过程危及鸟类的再生能力;污染物质在某些动物体内积累到一定程度,就使其肉和乳不再适于人的消费。为了避免或减少大气污染的危害,必须对大气污染物质稀释扩散规律和大气污染物质转化的气象条件进行研究;大气污染的预报,其中有大气污染潜势预报(即出现危险大气污染气象条件的预报),以及大气污染浓度预报;大气污染气候与大气环境的评价,包括逆温、混合层厚度等气候变化规律的分析,城市“热岛”的研究,空气污染物质本身年、季、月、日变化规律的研究,空气污染物质的取样时间和浓度关系的研究等等。

四、气象学与气候学发展简史

气象和气候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。像《易经》、《书经》、《诗经》、《礼记》历代史书、地方志等;又如《孙子兵法》、《本草纲目》、《博物志》、《山海经》、《汲冢周书》、《田家五行》,即使唐诗、《楚辞》等文学作品也收集有很多天气描述内容。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。古希腊诗人、哲学家和医生的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。

查究史乘,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世纪才用同样方法,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),这是后汉顺帝阳嘉元年(公元132年)张衡所制,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”;当时雨量筒也在使用,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。由于17世纪工业的发展,推动了自然科学的发展,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遂逐步深入。

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的可能性。1860和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19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为基础作的气旋经验模式,给出了锋面低压三度空间结构的实质。利想象冷锋是冷空气楔侵入暖空气,柯本(Köppen)于1879年也有同样想象,但可惜他们都认为冷锋仅对局部范围是重要的一种浅层(600米厚左右)的天气现象。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。气候学方面出版了较精确的气候图和气候学巨著。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;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直接高空气象学。例如,泰塞伦克和阿斯曼(Assmann)在欧洲,以及罗奇(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)等研究大气总环流,发现了长波理论,使气象学由两度空间真正发展为三度空间的科学;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。其后,1947年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,这就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下雨,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。由此人类开始进入了人工影响局部天气的时代。

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纯是预报问题,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,对大气现象精确地定量地进行数值模拟试验。从此,气象科学摆脱了定性描述阶段,进入定量地深入地研究各种大气物理过程的新阶段。第三是愈来愈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,也越来越注意海洋与陆地表面的物理性质对天气和气候的影响。此外,愈来愈注意人类活动对气候的影响,也愈来愈注意气候的变迁。

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。由于那时当局忽视发展科学,即使有一些气象工作者的努力,气象科学也不能得到应有的发展。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气候区域,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、季风气候和高原气象等;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,如开展了云雾物理、人工消雹和人工降水等工作。所有这些方面,都取得很好的成绩。

第一章 大气的基本状况

一、大气的成分

1. 低层大气成分

低层大气由三类成分组成：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、氖、氦和臭氧等的总含量则不超过 0.03%。干空气的分子量是 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因地而异，约从 0.02—0.04%。臭氧含量则随高度而有较大变化。但因它们含量都很少，不影响空气成分总的情况。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 SO_2 、一氧化碳 CO 、双氧水 H_2O_2 和氮的氧化物 NO_2 、 NO 、 N_2O_4 、 N_2O_5 等等。

表 1.1 干空气的成分（高度在25公里以下）

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
氖 Ne	1.8×10^{-3}	—	20.183	-228.0	26.0	-246.0
氦 He	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
氢 H_2	5.0×10^{-5}	—	2.016	-240.0	12.8	-252.5
氙 Xe	8.0×10^{-6}	—	131.300	16.6	58.2	-108.6
臭氧 O_3	1.0×10^{-6}	—	48.000	-5.0	92.3	-111.1
氡 Rn	6.0×10^{-18}	—	222.000	—	—	-62.0
干空气	100	100	28.966	-140.7	37.2	-193.0

注：干空气中 CO_2 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,在大气中进行各项化学变化时,氧通常起着重要的作用。

二氧化碳是植物进行光合作用的重要原料。此外,它能强烈地吸收和放出长波辐射,故在大气中它的含量虽然十分少,但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—30 公里处达到最大浓度,形成明显的臭氧层;此后又逐渐减少,一直到约 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 μ (即微米, $1\mu = 10^{-6}$ 米)的太阳紫外线,所谓哈脱莱(Hartley)带,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起了保护作用。关于臭氧的作用及其时、空变化等以后还要谈到。

(2)水汽 包含水汽的空气叫湿空气。水汽在空气中的含量虽少(按容积为 0—4%),但对天气变化却起着很大的作用。在大气实际的温度和压力条件下,水汽是能从气态到液态、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,或由水滴进一步冻结成冰粒,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;水汽还能强烈地吸收地面放射出来的红外线使空气增热。所以,水汽在大气动力学和热力学过程中起着重要的作用。

水汽绝大部分在对流层中,10 公里高度以下的水汽约占全部水汽量的 99%。

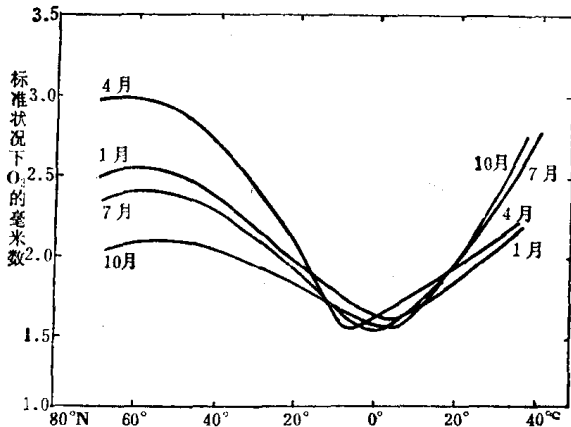
(3)气溶胶粒子 所谓气溶胶粒子是指悬浮在气体中的固体或液体的粒子。在大气中,这一类成分所包含的物质,除由水汽变成的水滴和冰晶外(云雾即是由微小的水滴或冰晶所组成的),主要是指大气尘埃和悬浮在空气中的其他杂质。它们有的来自流星在大气中燃烧后产生的宇宙尘埃;有的是地面燃烧所产生的烟粒,或被风卷起的尘土;有的是海洋中浪花溅起在空中蒸发后留下的盐粒子;有的是火山爆发后留在空气中的燃烧产物;有的是由细菌、动物呼出的病毒、植物花粉等所组成的有机灰尘等等。

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。

2. 臭氧

臭氧 O_3 是由三个氧原子构成的。在大气条件下,它的形成是由于氧分子 O_2 分解成氧原子 O ,而后氧原子与氧分子化合而成。在通常情况下,原子氧和臭氧都很不稳定,它们是要向氧分子转化的。要维持臭氧的存在,必须有某种使臭氧形成的因子作用,例如下层大气中的雷电作

用,但这种作用不是经常的,故下层大气中臭氧含量很少,而且也不固定。上层大气中的臭氧是由于在波长小于 0.20μ 的太阳紫外线作用下,氧分子分解成活泼的氧原子,氧原子又与氧分子化合而成。与此同时,臭氧又吸收波长 $0.22-0.32\mu$ 的紫外线,从而引起臭氧的分解。因为上层大气中波长小于 0.20μ 和波长 $0.22-0.32\mu$ 的太阳紫外线是经常存在的,所以上层大气中臭氧的形成和分解是同时进行的。当臭氧形成与分解速率相等时,则臭氧含量达到平衡状态(但这种情况一般是短暂的)。在平衡条件下,臭氧的浓度(单位体积的含量)与温度有关,温度越低,平衡浓度越高,温度越高,平衡浓度越低。



标准情况下的 O_3 毫米数是取 $P=760\text{mm}$, $T=273\text{K}$ 时, 1 平方厘米截面上整个空气柱所含的 O_3 的厚度。

图1.1a 臭氧含量随季节和纬度的变化

观测表明,大气中臭氧的含量与纬度、季节有关(图1.1a),在纬度分布上,低纬少,高纬多;高纬的季节变化明显,以春季最多,秋季最少,低纬的季节变化则不明显。另外,臭氧含量有不明显的日变化(指规则的日变化)。

大气中的臭氧含量还具有强烈的日际变化。这种变化与天气有关,例如,厚度较大的极地冷气团移来时,常使臭氧含量增加,而低纬暖气团移来时,则常使臭氧含量减少。故臭氧含量的增减能在一定程度上反映高空(平流层和对流层上部)的大气状况和气团的活动。

3. 高层大气成分

从地面 20—25 公里到 1000 公里左右的高层大气的主要成分仍然是氮气和氧气,其他成分都很少,但随着高度的增大,氧所占的比例逐渐减少,氮所占的比例则逐渐增大。这是因为在离地面约 90 公里以上,氧分子开始离解。离解程度随高度增高而急剧地加强;到 130 公里处,氧原子已占氧气体的 75% 左右。与此同时,氮也开始离解,不过它的离解程度随高度上升而增长得相当慢。据卫星探测资料,在 230—820 公里的高度范围内,氮的离解程度仅增大两倍。由此可见,即使在 1000 公里左右的高度仍然会有分子氮存在。图 1.1b 表示 0—300 公里高度上氧和氮的组成比例的大略情况。

4. 大气污染问题

由于人类活动而使局部甚至全球范围的大气成分对生物界(包括人类本身)有害的变化,叫做大气污染。随着工业的发展,这个问题在近代气象科学中已占有不容忽视的地位。由于工厂、机动车辆等排出的废气和粉尘等不断污染大气,在许多国家已成为“公害”,威胁着广大人民群众的生活和健康,并且对周围环境、农作物、建筑物、动物等造成不同程度的危害。此外,有人认为,大气污染还与气象科学的基本理论有关,把它列为决定气候的三大因子(太阳辐射、大气环流和下垫面特

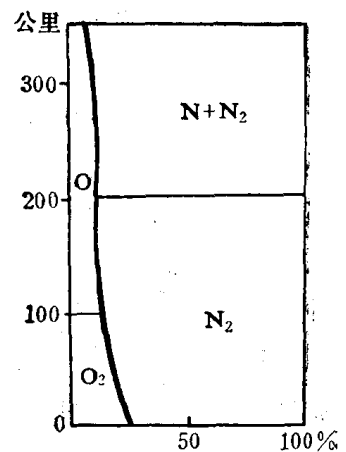


图1.1b 各高度上氧和氮的组成比例