

高等学校试用教材

气象学与气候学

周淑贞 主编

周淑贞 张如一 张兰生合编
张超 金守群

人民教育出版社

高等学校试用教材

气象学与气候学

周淑贞 主编

周淑贞 张如一 张兰生 合编
张超 金守群

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装

开本 787×1092 1/16 印张 18.25 字数 410,000

1979年4月第1版 1979年11月第1次印刷

印数 00,001-13,000

书号 12012·011 定价 1.35元

目 录

绪 论	
一、气象学与气候学的研究对象和任务	1
二、气象学、气候学与自然地理学的关系	2
三、气象学与气候学在生产建设中的应用	3
四、气象学与气候学发展简史	5
第一章 大气概述	
第一节 大气的组成	
一、干洁空气	10
二、大气中的水汽	11
三、大气中的固体杂质和液体微粒	12
四、大气污染	12
第二节 大气的结构	
一、大气的高度	13
二、大气的垂直分层	14
三、对流层中大气的水平不均一性	17
第三节 大气的基本性状	
一、大气的基本物理性质	17
二、状态方程	18
第二章 大气的热能和温度	
第一节 太阳辐射	
一、辐射的基本知识	22
二、太阳辐射	25
第二节 地面辐射和大气辐射	
一、地面、大气的辐射和地面有效辐射	31
二、地面及地气系统的辐射差额	32
第三节 大气的增温和冷却	
一、海陆的增温和冷却的差异	33
二、空气的增热和冷却	34
三、大气稳定度	39
第四节 大气温度随时间的变化	
一、气温的周期性变化	44
二、气温的非周期性变化	46
第五节 大气温度的空间分布	
一、气温的水平分布	46
二、对流层中气温的垂直分布	49
第三章 大气的水分	
第一节 大气的湿度	
一、湿度的各种表示方法	53
二、空气湿度的日变化和年变化	55
第二节 蒸发和凝结	

一、水相变化	56
二、饱和水汽压	58
三、影响蒸发的因素	60
四、大气中水汽凝结的条件	61
第三节 地表面和大气凝结物	
一、露和霜	62
二、雾凇和雨凇	62
三、雾	63
四、云	64
第四节 降水	
一、云滴增长的物理过程	69
二、雨和雪的形成	71
三、各类云的降水	72
四、人工影响云雨	72
第四章 大气的运动	
第一节 气压的变化	
一、气压随高度的变化	74
二、气压随时间的变化	78
第二节 气压场	
一、气压场的表示	81
二、气压场的基本型式	84
三、温压场的配置	85
第三节 大气的水平运动	
一、作用于空气的力	87
二、自由大气中的空气运动	91
三、自由大气中风随高度的变化	95
四、摩擦层中空气的运动	97
第四节 大气环流	
一、大气环流的主要特征	99
二、大气环流的形成	106
三、行星锋区和急流	109
四、环流的变化	112
第五章 天气系统和天气过程	
第一节 气团和锋	
一、气团	113
二、锋	118
第二节 温带气旋和反气旋	
一、气旋和反气旋概述	129
二、气旋和反气旋的生成和发展	130
三、气旋和反气旋的移动	131
四、锋面气旋	131

五、冷性反气旋和寒潮	134
第三节 中高纬度高空主要天气系统	
一、大气长波	139
二、阻塞高压和切断低压	140
三、高空冷性涡旋(低涡)	141
四、高空切变线	142
五、高空低压槽(高空槽)	143
第四节 副热带高压	
第五节 热带天气系统	
一、台风	148
二、赤道辐合带(热带辐合带)	154
三、东风波	155
四、热带云团	155
第六节 中小尺度天气系统	
一、中小尺度系统的主要特征	156
二、中小尺度系统简介	157
第七节 天气预报简介	
一、天气预报的内容	164
二、天气预报的主要方法和依据	164
三、我国“图、资、群”相结合的单站预报方法	166
第六章 气候的形成	
第一节 气候形成的辐射因子	
一、太阳辐射与天文气候	169
二、辐射差额与热量平衡	174
第二节 大气环流在气候形成中的作用	
一、大气环流与热量输送	180
二、大气环流与水分循环	182
三、低、中、高纬度环流与气候	184
第三节 海陆分布对气候的影响	
一、海陆的冷热源作用与气温	187
二、海陆分布对大气水分的影响	192
三、海陆分布与周期性风系(海陆风和季风)	195
四、海洋性气候与大陆性气候	197
第四节 洋流与气候	
一、世界洋流分布形势	202
二、洋流对气温的影响	204
三、洋流对降水和雾的影响	206
第五节 地形与气候	
一、地形与辐射	208
二、地形与气温	209
三、地形与地方性风	212
四、地形与降水	214
五、山脉是气候的分界	216
第六节 下垫面局部特性与小气候	

一、小气候的概念	217
二、小气候形成的物理基础	218
三、小气候的一般特性	221
第七章 气候带和气候型	
第一节 气候带与气候型的划分	
一、柯本气候分类法	225
二、斯查勒气候分类法	227
三、气候分类法评议	231
第二节 低纬度气候	
一、赤道多雨气候	232
二、热带海洋性气候	235
三、热带干湿季气候	235
四、热带季风气候	237
五、热带干旱与半干旱气候	238
第三节 中纬度气候	
六、副热带季风气候	242
七、副热带湿润气候	243
八、副热带夏季气候(地中海气候)	244
九、温带海洋性气候	245
十、温带季风气候	246
十一、温带大陆性湿润气候	247
十二、中纬度干旱和半干旱气候	248
第四节 高纬度气候	
十三、副极地大陆性气候	252
十四、极地长寒气候(苔原气候)	253
十五、极地冰原气候	254
第五节 高地气候	
一、赤道高山气候举例	255
二、热带、副热带高原气候举例——青藏高原气候	256
三、中纬度内陆干旱区高山气候举例	258
四、温带季风区山地气候举例	259
第八章 气候变迁和人类对气候的影响	
第一节 气候变迁的事实	
一、地质时期的气候变迁	261
二、历史时期的气候变迁	265
第二节 气候变迁的因素	
一、太阳辐射的变化	270
二、下垫面地理条件的变化	274
三、大气环流的变化	276
第三节 人类活动对气候的影响	
一、改变下垫面性质引起的气候变化	278
二、改变某些大气成分引起气候的变化	281
三、人为热释放与气候变化	283
四、城市气候	284

绪 论

一、气象学与气候学的研究对象和任务

由于地球引力的作用,地球周围聚集着一个气体圈层,构成了所谓大气圈。

大气的分布是如此之广,以致地球表面没有任何地点不在大气的笼罩之下;它又是如此之厚,以致地球表面没有任何山峰能穿透大气层,而且就以地球最高峰珠穆朗玛峰的高度来和大气层的厚度相比,也只能算是“沧海之一粟”。我们人类就生活在大气圈底部的“下垫面”上。大气圈是人类地理环境的重要组成部分。

地球是太阳系的一个行星,强大的太阳辐射是地球上最重要的能源,这个能源首先经过大气圈而后到达下垫面。大气中所发生的一切物理过程和物理现象,除决定于大气本身的性质外,都直接或间接与太阳辐射和下垫面有关。这些物理现象与物理过程对人类的生活和生产活动关系至为密切。人类在长期的生产实践中不断地对它们进行观测、分析、总结,从感性认识提高到理性认识,再在生产实践中加以验证、修订、逐步提高,这就产生了专门研究大气物理现象和物理过程并直接或间接地用之于指导生产实践的科学——气象学。

气象学的领域很广,其基本内容是:首先把大气当作研究的物质客体来探讨其一般特性,如大气的组成、范围、结构和密度等;其次是研究导致大气现象发生、发展的能量来源、性质及其转化;第三,研究大气现象的本质,从而能够解释大气现象,寻求控制其发生、发展的规律;最后,探讨如何应用这些规律来改造自然,使之能更适合于人类的生活和生产的需要。

由于生产实践对气象学所提出的要求范围很广,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,再加上随着科学技术发展的日新月异,气象学乃分成许多部门,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等,而其中与地理学科关系最密切的是气候学。

气候学研究的对象是地球上的气候。气候和天气是两个既有联系又有区别的不同概念。天气是指某一地区在某一短时间内各种大气现象的综合,而某一地区的气候则指的是在太阳辐射、下垫面性质、大气环流和人类活动长时期相互作用下所产生的天气综合,不仅包括该地多年来经常发生的天气状况,而且也包括某些年份偶尔出现的极端天气状况。例如从上海近百年的长期观测总结出:上海在6月中旬到7月中旬,经常会出现阴雨连绵、闷热、风小、潮湿的梅雨天气。但是有的年份(如1958年)会出现“空梅”,也有的年份(如1954年)6—7月连续阴雨50—60天。“开梅”和“断梅”的迟早也历年不同,这是上海初夏时的气候特征。

由此可见,要了解一地的气候,必须作长时期的观测,才能总结出当地多年天气变化的情况。决不能单凭1958年一年的观测资料,说上海的初夏气候是干旱无雨,也不能凭1954年一年的情

况,说上海的初夏气候有持续50—60天的阴雨。那都是个别年份出现的具体天气现象,而气候是在多年观测到的天气基础上所得出的总结和概括,也就是说气候过程是在一定时段内由大量天气过程综合平均得出的,二者之间存在着统计联系。另外,气候系统包括了大气、海洋、大陆、冰雪、生物圈等组成的庞大系统;而天气系统则可看作是单纯的大气系统。

天气具有瞬息多变的不稳定性,而气候在一定的时间阶段里,则显示着相对的稳定性。但是,在整个地球发展的历史中,各地的气候还是有变化的。它的变化规律性表现为冷、暖或干、湿阶段的交替所组成的周期性振动。

气候学是研究气候的形成过程、分布和变化规律的科学。在研究气候变化规律时,要着重解决气候发展史、气候变化的规律性、气候预报和气候变化与人类的关系等主要任务,从而达到改造气候,改造自然的目的。它既是气象学中的一个分支,也是自然地理学中的一个部门。实际上它是气象学与自然地理学之间的边缘科学。

在地理系开设的气象学与气候学是以普通气象学为基础,以气候学为重点的专业基础课程,也是基本技术训练课程。它的基本任务是:

(一) 通过实践,掌握气象观测、气候统计分析和气候调查的方法,来记叙大气中所观察到的现象,从定性和定量两方面说明它们的特性。

(二) 探讨对它们的正确解释和研究它们发展的规律,特别要掌握天气演变和气候形成过程的物理规律性。解释各个不同地区的气候特征及其地理分布,进行气候分类和气候区划,确定气候变迁的原因及其规律。

(三) 根据所发现的规律,研究预测未来天气变化的途径和单站天气预报的方法,为生产服务。

(四) 应用已发现的规律,探讨人类改造气候条件的途径,进而为改造自然服务。

二、气象学、气候学与自然地理学的关系

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、水和生物等圈层组成的自然综合体。在自然地理学领域中,因研究对象的侧重面和所采用的方法不同又分为:普通自然地理、部门自然地理和区域自然地理三大分科。在部门自然地理中又有许多分支,气候学就是其中之一。由于组成自然地理环境诸要素是相互影响和相互制约的,因此气象学、气候学与自然地理领域中各门科学的关系都是十分密切的。

地表面的岩石、土壤、水和植被等构成了大气圈的下垫面。下垫面是地球上吸收太阳辐射能的最主要部分,并将这种能量转变为热能,然后传到大气中去。下垫面是大气的主要热源,同时又是供给大气的水汽泉源。由于下垫面位置和性质的不均一:有纬度高低的差别,海陆分布的差异,洋流冷暖的不同,地形的高低起伏,植被的疏密和土壤性质的不同等等,遂使这种热量和水汽的传输发生很大的地区差异。这就大大地影响了各种复杂的气象现象,形成了多种不同的气候。因此不可能脱离自然地理的条件来研究大气中所发生的一切现象,也可以说一切大气现象都是在自然地理环境中发生发展着的。还必须指出,大气中的物理过程、物理现象和气候条件又反过

来对所在的下垫面产生极大的作用。例如大气环流就提供促使海水运动的动能，制约着洋流运动的方向和温度，对海陆间的水分循环起着重要的作用。在气温、降水和风的长期共同作用下，可以改变地形的高低和起伏，影响植被和土壤的性质，从而使自然综合体发生改变。由此可以看出：气象学、气候学与普通自然地理和区域自然地理有着极为密切的关联。

气象学、气候学与其他部门自然地理之间的关系也很密切。以陆地水文学而论，气候条件对地面水、地下水的来源、运动、循环以及水文网的分布，有着直接的影响，特别是降水量的大小、强度、地理分布和季节分配对河川径流关系最大。其次如气温、湿度和风向、风速等对水文情况亦有一定的影响。著名气候学者沃耶伊科夫(А.И.Воейков)曾说过：“河流是气候的产物”，并以河流的情况做为划分气候类型的依据。另一方面下垫面的干、湿和水体分布又直接影响着各地的气候。

气候条件通过外力作用对地貌的形成和发展产生巨大的影响。例如在中、低纬的干旱与半干旱气候区，由于气温昼夜变化剧烈，岩石受到热胀冷缩的影响，物理风化作用强烈，易于发生疏松和破碎的现象；再加上干旱少雨，缺乏植被，有利于风对地表物质进行侵蚀、搬运和堆积，产生各种风成地貌。又例如在高纬和高山地区长年低温，有严重积雪和冰冻现象，因此在那里形成冰川地貌和冻土地貌，在地貌学中已形成一个分支——气候地貌学。反过来，地貌也是气候形成的一个重要因子，它从热力和动力两个方面影响着大气的物理过程，庞大高耸的山地不仅本身会产生垂直气候带的分异，并且还影响邻近地区的气候成为不同气候区域的分界线。

任何植物都必须在一定的环境中生长发育，气候条件中的阳光、温度和水分对植物的生存关系最为密切。气候是引起植物地理分布的重要因素之一。当气候类型发生变化时，植物的分布也就随之变化。动物受气候的影响不像植物那样明显，但它们所摄取的食物直接或间接都取自植物，因此动物的分布也和气候条件有关。反过来，生物界对气候也有很大的影响，特别是植物群落对下层大气的热量平衡和水分平衡起着重要的作用，对近地面小气候的形成影响很大。

此外，气候也是土壤形成的因素之一，土壤类型的地理分布与气候的关系非常明显。而土壤类型和各种土壤的物理性状又直接影响着小气候。

因此，在气象学与气候学的研究和教学中应充分考虑到它和自然地理学的依存关系。除完成这门学科本身的任务外，还要注意为其他部门自然地理和区域自然地理等后续课程奠定必要的基础。

三、气象学与气候学在生产建设中的应用

气象学与气候学在生产建设中的应用主要表现在以下三个方面：

- (一)提供气象观测资料，并加以整理分析，找出它们的规律和特性，供生产建设部门应用。
- (二)提供未来天气预报和气候变化趋势预报，做生产建设部门的参谋。
- (三)根据生产建设的需要和可能，用人工控制局部天气和改造小气候的条件。

上述三个方面以前二项应用最广，已经在农林、渔盐、交通、工程、医疗卫生和军事国防等方面取得良好效果。

农业与气象、气候关系最为密切,因为各种农作物的生长、发育都必须具备一定的温度、日照和降水等气候条件。在进行农业区划时,必须根据这些有关气象要素统计资料,充分利用气候资源,合理地解决农业生产布局问题。在进行播种、移栽、收割等农事活动时,必须利用短期和中、长期天气预报来加强工作的计划性,利用有利的天气时机,克服不利的天气条件,采取有效措施,预防灾害性天气带来的危害。还可利用气候学原理,改善田间小气候,夺取农作物的丰收。

植树造林同样也要研究气候条件,例如种植大规模的防护林时,先要调查造林区的盛行风向和风力,根据这些气候条件才能合理地规划防护林带的位置、宽度、走向和间距,使防护林带能发挥最大的效用。要预防森林灾害,如风折、雪压、霜冻等,必须利用天气预报及早采取措施,防患于未然。

沿海的渔、盐生产和气象条件关系也十分密切。就渔业生产来讲,我国的渔场的面积很大,在世界渔场中占有相当的比重。捕鱼与风的关系最大,风力适宜既利于渔船出海,又利于鱼类群栖,抢风头、赶风尾,往往取得良好的成绩。因此正确的风力预报,可以指导渔业生产。又如浅海养殖中的牡蛎,必须生活在比重为 1.020—1.024 的海水中,如果降水量多,海水被冲淡,比重降到 1.020 以下,牡蛎便要死亡。因此海洋水产养殖事业还需参考各海区的降水资料。至于水产加工更需要根据天气预报来安排工作。海盐生产过程,实质上就是海水蒸发过程,需要了解日照、气温、湿度、风向、风速以及晴、雨日数的气候资料,一次生产作业过程中最好有连续七、八天的晴天,切忌中途出现大雨,这就需要准确的天气预报。

在海、陆、空交通和工程建设方面都需要应用气候资料和天气预报。海上航行,在很大程度上与天气有关。大风、海雾、台风等灾害性天气对航行有很大障碍,必须依靠天气预报,作好防御工作。建筑海港,需视港湾形势,利用当地盛行风向、风速资料,设计海港的门口方位。海港位置的选择亦必须考虑雾的出现频率,冬季冻冰情况等气候条件。

陆上的交通也受到气象条件的影响,例如大风会折断电杆,雨淞压断电线,使通讯遭受破坏。大雾影响铁路和公路运输。公路和铁路的建筑必须知道冻土深度、最低温度和低于 0°C 温度的连续出现日数。气温能够改变路基土壤内部水分的重新分布,影响路基强度,降水中的一次最大量和连续最大量,为公路和铁路桥涵设计的必要依据。如果没有足够的气候资料,没有掌握天气变化的极端情况,在雨季或暴雨时,就会发生路基崩塌、路面翻浆、排水道溢流、桥梁冲毁等等事故。

航空路线的选择需要根据云量、云状、云高、沿途风速和盛行风向、能见度等气象资料,来确定最有利的航线和飞行高度。飞机场不宜建筑在多雾的地方,飞机跑道的方向要参考当地盛行风向来决定。在飞机起飞、航行途中和降落时,都必须根据当时的天气情况和天气预报采取措施,保证安全,特别是当盛夏午间空气对流旺盛,容易导致飞机颠簸,穿过过冷却水滴构成的云层时,会产生飞机结冰现象,改变飞机的动力性能,往往因此发生航行事故,应加防范。

在水利建设中为了作好某流域的总体规划、水库设计、灌溉工程、防洪、防风以及洪水预报等,就需要该地区和水文有关的气候资料,特别是降水方面的资料,年、月的平均降水量、最大降水量、最小降水量、降雨强度、降水持续时间、暴雨持续时间、暴雨范围、降水变率、降水周期以及

蒸发量等等的统计资料及其综合分析的研究成果，并且还要考虑这些水利工程设施后的气候效应。

在城市建设方面为了合理地布置工厂、机关、学校与住宅区，就需要盛行风向、风速和混浊指数的资料。例如北京的工业区选择在东南郊，其原因之一就是由于北京常年盛行西北风的缘故，这样使工厂区位于下风方向，工厂的烟尘就不致大量扩散到市内。在营造高大建筑物如铁塔、水塔与烟囱等时，就需要风压和雪压资料。在设计粮食仓库、印刷厂与造纸厂时还需要考虑温度、湿度和风的资料，没有这些资料，在进行厂房内的温度调节、湿度调节和通风设备等设计时是有困难的。

在城市中还由于近代工业的发展，出现人口密集的现象，工厂、汽车和居民所用炉灶等排放出的烟尘废气，使大气污染，直接或间接影响着人体的健康。大气污染的监测，大气污染的预报，大气污染气候与大气环境的评价以及做好大气环境保护等方面的工作，都需要应用气象气候资料和及时的天气分析和预报。

人体健康与气象条件关系十分密切。疗养地点的选择，对日照、气温、湿度、大气透明度和风速等都有一定的要求。病菌的繁殖与温度、湿度关系很大，人体抗御疾病的机能，也和天气情况有关。例如每次寒潮爆发，都会导致患呼吸器管疾病的人病情加重，因此，医疗卫生部门必须重视天气变化，及早采取措施，防病治病，提高医疗效果。

在国防建设中，海、陆、空军事基地的选择，都必须慎重考虑气候条件，在战争中，气象情报是军事行动的重要保证之一。正确地利用气象条件和天气预报，制订周密的作战计划，才能收到克敌制胜的效果。

综上所述，可见气象、气候在生产建设中的应用是十分广泛十分重要的，并已分门别类形成各自独立的应用气象学和应用气候学，如农业气象(气候)学、林业气象(气候)学、盐业气象学、渔业气象学、航空气象学、航海气象学、医疗气象学、建筑气象学、污染气象学和军事气象学等等。

四、气象学与气候学发展简史

气象学与气候学来源于生产实践，又服务于生产实践，随着社会生产的发展，运用愈来愈进步的方法和技术而逐步提高的。综观三千多年来气象学、气候学发展的历史，可以概括为以下三个时期。

(一)萌芽时期：主要是指十六世纪中叶以前这一段漫长时期，这时期的特点是由于人类生活和生产的需要，进行一些零星的、局部的气象观测，积累了一些感性认识和经验，对某些天气现象做出一定的解释。我国历史悠久，这一时期在气象学中也有不少成就，而且是居于世界领先行列的。

远在三千年前，殷代甲骨文中已有关于风、云、雨、雪、虹、霞、龙卷、雷暴等文字记载。还常卜问未来十天的天气，称为卜旬，并将实况记录下来以资验证。周代曾经设立了进行天文和云气气象观测的高台(灵台、清台、观台)，建立有关部门，专司观测工作，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、物候的观测记录，确定了廿四节气，对指导黄

河流域的农业生产季节意义很大,并沿用到现代。秦汉时代还出现了《吕氏春秋》,《淮南子》和《礼记》等内容涉及物候的书籍,这些都是世界上最早的关于物候学的文献。

气象观测仪器也是我国最早发明。在西汉时(公元前104年)已盛行三种风向器:伫、铜凤凰和相风铜鸟。到唐代又发展到在固定的地方用相风鸟,在军队中则用鸡毛编成的风向器。在唐代李淳风所著《乙巳占》一书中曾指出:“常住安居,宜用鸟候,军旅权设,宜用羽占”。欧洲到十二世纪也有用候风鸟测风的记载。我国在西汉时就利用羽毛、木炭等物的吸湿特性来测量空气湿度。宋代曾有僧赞宁(公元十世纪人)利用土炭湿度计来预报晴雨。在欧洲,十五世纪出现用比较羊毛和石块的相对重量来测空气湿度。我国古代对降水的观测十分重视,降水记录亦最早,据《后汉书》记载,在当时曾要求所辖各郡国,每年从立春到立秋这段时间内,向朝廷汇报雨泽情况。此后历代对各地雨情都很重视。所以我国的雨量和水旱灾记录历史亦很悠久。至于测量降水的仪器最早见于南宋数学家秦九韶所著《数学九章》(约在公元1247年)的命题中,有关于“天池测雨”、“圆器测雨”、“峻积验雪”、“竹器验雪”等四道算题,要求根据不同形状的盛雨(雪)器,计算出相当于平地的雨水深度(雪厚度)。在欧洲,到1936年也出现了用容器收集雨水进行计量的方法。

由于生产上的需要,人类迫切要求预知未来天气的变化,从长期观察的实践中,积累了不少经验,要求用简短韵语来表达,便于记忆和运用,这就是天气谚语。我国天气谚语是极丰富的,除一部分封建迷信的内容外,大多数是历代劳动人民看天经验的结晶。唐代黄子发的《相雨书》,元末明初出现的娄元礼编的《田家五行》和明末徐光启编写的《农政全书占候》都是总结群众预报天气经验的著作。

关于解释天气现象的理论,我国古代也有不少成就。例如东汉王充在其名著《论衡》中的《龙虚》和《雷虚》两文中,对于雷暴的形成已作了初步解释。他说:“雷者太阳之激气也,何以明之,正月阳动,故正月始雷,五月阳盛,故五月雷迅,秋冬阳衰,故秋冬雷潜”,这个见解是有道理的。在宋代沈括的《梦溪笔谈》中记载着孙彦先对虹的解释:“虹乃雨中日影也,日照雨则有之。”这是符合虹的形成原理的。其他如西汉董仲舒在《雨雹对》中对雨滴的形成过程,宋代朱熹对云的形成,都有合乎科学的解释。

在国外,气象学的萌芽也很早,公元前四世纪希腊大哲学家亚里斯多德(Aristotle)所著《气象学》(Meteorolosis)一书(约为公元前350年)综合论述水、空气和地震等问题,对大气现象也作了适当的解释。现在气象学的外文名字就是从亚里斯多德的原书名演变而来的。气候一词也是原出于希腊文 κλίμα,表示倾斜的意思。古希腊人认为,地球上由于受到太阳光线倾斜角度的不同,才产生气候的差异,并已建立了关于热带、温带和寒带的概念,这种气候形成的概念流传很久,直到十五世纪中期地理大探险时期,人们才认识到气候的形成,不仅受太阳光线倾斜角度的影响,还与大气环流、海陆分布形势有关。

总之,在气象学萌芽时期,我国和希腊是露过锋芒的,这时从学科性质来讲,气象学与天文学是混在一起的,可以说具有天象学的性质。

(二)初建时期:包括十六世纪中叶到十九世纪末这一段时期。这时由于欧洲工业的发展,

推动了科学技术的发展。物理学、化学和流体力学等随着当时工业革命的要求,也快速发展起来。又由于航海技术的进步,远距离商业与探险队的活动,扩大了人们的视野,地理学乃蓬勃兴起。这就为介于物理学与地理学之间的边缘科学——气象学、气候学的发展奠定了基础。再加上这一段时间内,气象观测仪器纷纷发明,地面气象观测台、站相继建立,形成地面气象观测网,并因无线电技术的发明,能够开始绘制地面天气图。由于具备了这些条件,气象学、气候学乃与天文学逐渐分离,成为独立的科学。

1593年意大利学者伽利略(Galileo)发明了温度表。1643年意大利学者托里析利(Torricelli)发明了气压表。这两种重要仪器的出现,使气象观测大大向前跃进一步。特别是气压与天气变化的关系最直接,气压表当时曾被誉为天气“眼睛”。1783年索修尔(Saussure)发明了毛发湿度表。根据我国张山来编的《虞初新志》(1683年)的记载,我国青年发明家黄履庄发明了验冷热器(即温度表)和验燥湿器(即湿度表),并写有专书加以说明,可惜在清代封建统治下,只讲究以科举八股取士,遏制了科学的发展,这两项仪器都未能得到流传和发展。

由于有了温度表和气压表就为建立气象站提供了必要的条件。1653年在意大利北部首先建立气象台,此后其他国家亦相继建立地面气象观测站,开始积累气象资料。但这时只有一些分散性的研究,缺少国际合作与交流。

1854年,英法与帝俄在克里木半岛发生战争。英法联军舰队在黑海途中因风暴失事,近于全军覆没。这事件引起有关国家的重视。事后根据有关台站气象观测记录,发现此次风暴是由西欧移向东欧的。因此当时人们认为,如能广泛建立气象台站网,并通过电讯联系,则可预测未来天气变化,并采取相应的预防措施,以减少灾害性天气对各方面所造成的损失。这种认识为气象界的国际合作打开了局面,并促进了天气分析工作的进展。

随着无线电报的发明和应用,使气象观测的结果能很快地传达到各地,为绘制天气图创造了条件。在1860—1865年间各国纷纷绘出了天气图,有了天气图这个工具,使气象学的发展大大向前跨进了一步。

这一时期气象学与气候学上的主要研究成果有:关于海平面上风、压关系的定律、气旋模式和结构、大气中光、电现象和云雨形成的初步解释,大气环流的若干现象解释等。从十九世纪开始,陆续出版了一些比较高质量的气候图,如世界年平均温度分布图、世界月平均气压分布图、世界年降水量分布图等。此外,德国学者汉恩(Hann)于1883年开始陆续出版了《气候学手册》三大卷,这是气候学上最早的巨著。

我国气象学虽有悠久的历史,在萌芽时期曾处于世界先进行列,但由于封建统治的压抑,生产水平低下,气象学处于长期停顿状态。在这一时期中,帝国主义为了侵略我国,纷纷在我国设立气象观测机构,收集气象资料为其军事、经济侵略服务。最早来我国境内用近代气象仪器进行气象观测的是法国传教士,他于1743年在北京设立测候所,其后从1830年起俄国又断断续续地派人来北京做气象观测。法国天主教会1873年在上海徐家汇创建观象台,1898年德国人在山东青岛建立青岛观象台,其次还有在英国人掌握之下的海关测候所共43处(都位于沿海沿江的港口)。他们都为各自的军事、航行、商船服务,我国政府无权过问。这时我国的气象事业完全是半

殖民地性质的。

(三)发展时期：从二十世纪以来是气象学与气候学的发展时期。这一时期总的特点是随着生产发展的需要和新技术的发展,不但进行地面气象观测,也进行高空直接观测,摆脱了定性描述阶段,进入到定量试验阶段;从认识自然,逐步向预测自然、控制和改造自然的方向发展。

在二十世纪五十年代以前,高空观测所用工具有风筝、带人气球及气象火箭等,那时所达到的高度当然是有限的,但已为直接高空气象学奠定了基础。在这五十年中,气象学有三次重要的发展:

锋面学说:在第一次世界大战期间,由于邻国气象资料无法获得,挪威建立了比较稠密的气象网,挪威学者贝坚克尼父子(V. Bjerknes 和 J. Bjerknes)等应用物理学和流体力学的理论,从长期天气分析实践中创立气旋形成的锋面学说,为进行1—2天的天气预报,奠定了物理基础。

长波理论:本世纪三十一四十年代,由于要求能早期预报出灾害性天气,再加上有了无线电探空和高空测风的普遍发展,能够分析出较好的高空天气图,瑞典学者罗斯贝(Rossby)等研究大气环流,提出了长波理论,它既为进行2—4天的天气预报奠定了基础理论,同时也使气象学由二度空间真正发展为三度空间的科学。

降雨学说:在本世纪三十年代,贝吉龙-芬德生(Bergeron-Findeison)从研究雨的形成中,发现云中有冰晶与过冷却水滴共存最有利于降雨的形成,提出了降雨学说。1947年又发现干冰和碘化银落入过冷水滴中可以产生大量冰晶,这就为人工影响冷云降水提供了途径。进一步研究还发现在热带暖云中由于大、小水滴碰并也可导致降雨,这又为人工影响暖云降水奠定了理论基础。由此人类开始从认识自然进入到人工影响局部天气时代。

在气候学方面这时也有长足的进展,突出的表现在:创立了气候型概念和几种气候分类法,如柯本(W. Koppen)、桑氏威特(C. W. Thornthwaite)、阿里索夫(В. П. Алисов)等各具特色的气候分类法。1930—1940年间柯本和盖格尔(R. Geiger)出版了五卷《气候学手册》,着重从动力方面研究气候的形成变化,发展了动力气候学。贴近地面层的小气候研究也逐步精确化和定量化。

本世纪五十年代以后,由于有了电子计算机和新技术,如雷达、激光和人造卫星的使用,大大地促进了气象学与气候学的发展,具体表现如下:

开展大规模的观测试验:在五十年代以前,国际上曾在1882和1932年组织过两次对南北极区进行气象考察,称为国际极年。取得了一些高空气象和太阳与地球关系的资料。在五十年代以后到现在又进行过四次至少有几十个国家参加的大规模大气观测试验^①。规模一次比一次大。最近一次是从1977年12月到1979年11月,预计有一百多个国家参加,我国也参加了这一活动。全球大气试验是以5个同步气象卫星和2个近极地轨道卫星为骨干,配合气象火箭,并与世界各地常规的地面气象观测站、自动气象站、飞机、船舶、浮标站和定高气球等相结合,组成几个全球性的较完整的立体观测系统。这一全球性观测计划是为了试图解决10天到两周之间的天气

^① 这四次的前三次是:(1)1957年7月到1958年底的国际地球物理年,(2)1964年—1965年的国际太阳宁静年,(3)1968年—1970年的国际太阳活动年(见1978年12月14日《文汇报》,《全球大气试验》)。

预报,进一步了解天气现象形成的物理过程和物理原因。

对大气物理现象进行数值模拟试验:气象学、气候学不象物理学、化学那样,可以在室内进行模拟实验,而是以地球的大气层做为实验室。有了电子计算机才可能广泛地对各种大气物理现象进行精确的定量的数值模拟试验,从全球性环流直到云内雨滴的生成过程都进行试验,并把云雾中的微观过程和动力的宏观过程结合起来,使气象学进入试验科学阶段。

把大气作为一个整体进行研究:把对流层与平流层,中、高纬地区与低纬地区,南半球与北半球结合起来进行研究。这在气象学与气候学的发展上又是一大跃进。

人类对大气中的化学现象与化学过程也进行了多年的观测分析和总结,并已形成了气象学中一个新支派——大气化学,特别是近年来对大气污染的监测,研究环境保护的措施,更促进了大气化学的发展。

此外,在最近二、三十年来对气候形成和变迁的理论,如海洋与陆地表面的物理性质对天气、气候的影响,人类活动在气候形成中的作用,气候变迁的规律和今后几十年气候变化的趋势,对大范围气候控制的方法等,都开展了研究。

在这一时期我国气象学、气候学也有一定的进展,奠基人就是竺可桢。竺氏在1927年创立了气象研究所,次年在南京北极阁建立气象台,这是继1913年北京成立观象台之后,我国自己设置的第二个设备较好的气象观测机构。此后20年中,国内陆续建立了四十多个气象站和一百多个雨量站。开展了少数城市的高空探测、天气预报和无线电广播等业务。1941年在重庆成立中央气象局,但在半殖民地半封建的旧社会,气象事业很难发展。那时气象气候方面的论著,多偏重于:我国气候区域的划分、我国的季风、寒潮、台风和旱涝问题的研究。

解放后,我国气象事业得到迅速发展,在第一个五年计划期间,全国共建立了各级气象台站1378个。至1957年底全国各级气象台站已达1635个,比解放初期增加近22倍。它们在国防建设和经济建设中起了很大的作用。特别是为适应农业生产的需要,开展县站预报的工作,取得了很大的成绩。

在新中国成立后近30年来,我国气象学、气候学研究的方面,远比解放前广,成绩也很显著。在基础理论方面,如大气环流和动力气象等;在天气学方面如中国天气、高原气象等;在卫星气象方面如甚高分辨云图接受器的研制、卫星气象学和探测原理等研究都取得了显著的进展。在人工影响天气方面,已经开展了云雾物理、人工降水和人工消雹等工作,都取得较好的效果。在气候学方面,以竺可桢的物候学和关于中国近五千年气候变迁的研究,最负盛誉。

我国气象事业虽然取得了不少成绩,但和世界先进水平相比,仍然存在很大差距。为了适应四个现代化的需要,必须加速气象现代化的进程。主要奋斗目标是:极大地提高灾害性关键性天气预报、人工影响天气和气候、农业气象的水平;建成预报客观定量化,观测遥测自动化,情报资料传输处理高速化等一整套现代化的气象业务体系。拥有世界先进水平的气象科技队伍和科研实验设备,对大气运动规律、气候理论和大气物理等的研究方面,要有重大发展或发明创造。

第一章 大气概述

在大气层中存在着各种不同的物理过程,如增温、冷却、蒸发、凝结等和各种不同的物理现象如风、云、雨、雪等,这些物理过程和物理现象的形成及其变化是与大气本身的性质紧密联系着的。因此在研究大气圈,讨论发生在大气层中物理过程和物理现象之前,必须首先了解大气的组成、结构及其物理性质。

第一节 大气的组成

大气主要由多种气体混合组成。此外,还包含一些悬浮着的固体杂质及液体微粒。

一、干洁空气

大气中,除了水汽和液体、固体杂质外的整个混合气体,称为干洁空气。它的主要成分是氮、氧、氩、二氧化碳等,此外还有少量的氢、氦、氖、氙、臭氧等稀有气体。

表 1-1 列举了干洁空气的成分,其中氮与氧两者就体积和质量来说,差不多占空气的 99%,与氩合计,则占空气的 99.9%。至于氦、氖、臭氧、氢等气体,所占空气总容积的百分数合起来还不到 0.01%。

表 1-1 干洁空气的成分 (25公里高度以下)

气·体·成·分	干洁空气含量%		分·子·量
	按·容·积	按·质·量	
氮 N ₂	78.08	75.52	28.02
氧 O ₂	20.94	23.15	32.00
氩 Ar	0.93	1.28	39.88
二氧化碳 CO ₂	0.03(变动)	0.05	44.00
氦 Ne	0.0018	—	20.18
氖 He	0.0005	—	4.00
臭氧 O ₃	0.00006	—	48.00
氢 H ₂	0.00005	—	2.02
氪 Kr	痕 迹	—	83.70
氙 Xe	痕 迹	—	131.30
氡 Rn	痕 迹	—	222.00
甲烷(沼气) CH ₄	痕 迹	—	16.04
干 洁 空 气	100	100	28.97

由于大气中存在着空气的垂直运动、水平运动、乱流运动和分子扩散,使不同高度、不同地区的空气得以进行交换和混合,因而从地面开始,直到 90 公里处,干洁空气成分的比例基本上是不变的。因此,在 90 公里以下,可以把干洁空气当成分子量为 28.97 的“单一成分”的气体来处理。在 90 公里以上,大气的主要成分仍然是氮和氧,但是从 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,氧分子已几乎全部离解为氧原子,到 250 公里以上,氮也基本上都离解为氮原子。

大气中的氧是一切生命所必需的。这是因为动物和植物都要进行呼吸作用,都要在氧化作用中得到热能以维持生命的缘故。此外,氧还决定着有机物质的燃烧、腐败及分解过程。

大气中的氮能够冲淡氧,使氧不致太浓,氧化作用不过于激烈。此外,氮也是制造化学肥料的原料,豆科植物可通过根瘤菌的作用,直接将大气中的氮素改造为植物体内不可缺少的养料。

在干洁空气的各种成分中,臭氧和二氧化碳所占比例虽然极少,但对大气温度分布和人类生活却有较大影响。

臭氧是由氧分子分解为氧原子后再和另外的氧分子结合而成的气体。大气中的臭氧主要是在太阳紫外线辐射作用下形成的。另外有机物的氧化和雷雨闪电作用也能形成臭氧。大气中臭氧的含量很少,而且是随高度而改变的。在近地面层臭氧含量很少,从 10 公里高度开始逐渐增加,在 12—15 公里以上含量增加特别显著,在 20—25 公里高度处达最大值,再往上,臭氧的含量逐渐减少,到 55—60 公里高度上就极少了。造成这一现象的原因是由于在大气上层中,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。即使臭氧在此处形成,由于它吸收一定波长的紫外线,又引起自身的分解,因此,在大气上层中臭氧的含量不多。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。在这一层次中,既有足够的氧分子,又有足够的氧原子,这就造成了臭氧分子形成的条件。因此在 35 公里处,臭氧的混合比最大(混合比是指单位质量干空气中的臭氧质量),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。在低于这一层次的空气中,短波紫外线大大减少,氧分子的分解也就大为减弱,所以氧原子的数量减少,以致臭氧的形成较少。

臭氧能大量吸收太阳紫外线,使臭氧层增暖,影响到大气中温度的垂直分布。同时,还使地面上的生物免受过多紫外线的伤害,少量紫外线,可以起到杀菌治病的作用。

大气中的二氧化碳是有机化合物氧化作用的产物,例如燃料的燃烧,有机物的腐化以及动物、植物的呼吸等都产生二氧化碳。这些作用集中在大气的底层,因此,二氧化碳集中于大气底部 20 公里的一薄层内。在 20 公里高度以下,大气中二氧化碳一般占 0.03%,到了 20 公里以上,二氧化碳含量就显著地减少。底层大气中的二氧化碳含量,略因时间和空间而不同:大致夏季较多,冬季较少;城市较多,农村较少。在大工业城市,大气中二氧化碳的含量可达到 0.05%,甚至 0.07%。其含量达到 0.2—0.6% 的时候,对人类已经有害了。

二氧化碳对太阳辐射吸收很少,但却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,因此,它能对大气和地面的温度产生一定的影响。

二、大气中的水汽

大气中的水汽来自江、河、湖、海及潮湿物体表面的水分蒸发,并借助空气的垂直交换向上输送。一般说来,空气中的水汽含量随高度的增高而减少。由于大气温度随高度增加而降低,以及水汽因温度降低到一定程度而凝结,因此,这种向上减少的速度是很快的。观测证明:在 1.5—2

公里高度上,空气中水汽含量已减少为地面的一半;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,气层中水汽含量随高度升高而增大的情形也是有的。

大气中的水汽含量,不但有垂直分布的变化,而且还因纬度、地势高低以及海陆的不同,而有显著差异。纬度愈高水汽含量愈少,在寒冷干燥的陆面上其含量几乎接近于零,而在温度较高的洋面(如赤道洋面)上空,其含量按容积来说可达4%。

大气中水汽含量虽然不多,但它是天气变化中的一个重要角色。在大气温度变化的范围内,它可以变为水滴和冰晶,成云致雨落雪降雹。此外,由于水汽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,在水相变化中又能放出或吸收热量,这些都对地面和空气的温度有一定影响。

三、大气中的固体杂质和液体微粒

大气中悬浮着各式各样固体杂质和液体的微粒。

固体杂质包括来源于物质燃烧的烟粒,海水飞溅扬入大气后而被蒸发的盐粒,被风吹起的土壤微粒及火山喷发的烟尘,流星燃烧所产生的细小微粒和宇宙尘埃,还有细菌、微生物、植物的孢子花粉等。它们多集中在大气的底层。固体杂质的分布情况是随时间、地区和天气条件而变的。通常,在近地面大气中陆上多于海上,城市多于乡村,冬季多于夏季。空气的乱流运动和垂直运动对悬浮微粒的垂直分布有很大影响,当乱流和垂直运动强时,微粒可散布到高空,反之,多集中在下层。空气的水平运动对悬浮微粒的水平分布亦有很大影响,可将某一地区的悬浮微粒输送到另一地区。

大气中的固体杂质浮游空际,会使大气能见度变坏,但它能充当水汽凝结的核心,对云、雨的形成却起重要作用。同时,固体微粒能吸收一部分太阳辐射和阻挡地面放热,对地面和空气温度有一定影响。

液体微粒是指悬浮大气中的水滴、过冷水滴和冰晶等水汽凝结物。它们常聚集在一起,以云、雾等形式出现,使能见度变坏,还能减弱太阳辐射和地面辐射,影响地面空气的温度。比如,在同一季节里阴天比晴天的最高温度低,就是这种影响的例证。

四、大气污染

当大气不受污染时,其成分如表1-1所示。但是由于工业、交通运输业的发展,在废气不加以回收利用的情况下,空气中增加了许多新的成分,这就是所说的大气污染。

大气中污染物已经产生危害,引起注意的大致有一百种左右。主要污染物如表1-2所列,其中影响范围广,对人类环境威胁较大的主要是煤粉尘、二氧化硫、一氧化碳、碳化氢、硫化氢和氨等等。

从污染来源看,主要有燃料燃烧时从烟囱排出的废气与汽车的排气和工厂漏掉的毒气等。烧1吨煤一般就有6—7公斤烟粒升入空中,这种飘浮空中的烟粒与燃烧煤放出的 SO_2 等气体混合,便可形成煤粉尘烟雾;应用石油作燃料烟雾较烧煤虽减少,但石油中含硫较多,燃烧时90%的硫都变成 SO_2 进入大气。 CO 是大气中含量最多的污染物质,大部分 CO 都是由汽车排出的;此外,汽车排出的 NO_2 ,在紫外线作用下,经过复杂的化学反应过程,可以形成光化学烟雾。

表 1-2 大气主要污染物

分 类	成 分
粉尘微粒	碳粒、飞灰、碳酸钙、氧化锌、二氧化铅
硫化物	二氧化硫、三氧化硫、硫酸、硫化氢、硫醇等
氮化物	一氧化氮、二氧化氮、氨等
氧化物	臭氧、过氧化物、一氧化碳等
卤化物	氟、氯化氢、氟化氢等
有机化合物	碳化氢、甲醛、有机酸、焦油、有机卤化物、酮等

空气受到污染，无疑会对人体健康带来严重危害。大气污染中毒的主要表现是呼吸道疾病与生理机能障碍，甚至有的因急性污染中毒而死亡。大气污染还能直接危害林木庄稼，助长病虫害的发生发展，使家畜中毒死亡等等。

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气前清除污染物质；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。

为了掌握大气污染的情况和警戒限度，我国已经研制了 QJC-01 型大气污染监测车，它可同时对空气中的二氧化硫、一氧化碳、飘尘、氮氧化物、总氧化物、臭氧、总烃、甲烷、乙烯、乙炔等十种物质及气温、湿度、风向、风速等四个气象指标进行连续自动监测，并由电子计算机自动报出测量结果，作出大气污染状况的评价，为对污染采取防治措施提供依据。

第二节 大气的结构

一、大气的高度

据计算，由地面到大气上界，单位截面积大气柱的总质量在标准情况下(温度为 0℃、气压为 760 毫米)为 1033.3 克/厘米²。其中有 50% 的大气质量集中在离地 5.5 公里以下的层次内，在离地 36 到 1000 多公里的大气内只占总质量的 1%。大气压力和密度随高度的分布如表 1-3。尽

表 1-3 气压和密度的高度分布

高度(公里)	气压(毫巴)	密度(克/米 ³)	高度(公里)	气压(毫巴)	密度(克/米 ³)
0	1,013	1,225	14	141	227
1	899	1,112	15	120	194
2	795	1,007	20	55	88
3	701	909	25	25	40
4	616	819	30	12	18
5	540	736	35	6	8
6	472	660	40	3	4
7	411	590	45	2	2
8	356	525	50	0.9	1
9	307	466	60	0.3	0.4
10	264	413	70	0.06	0.1
11	226	364	80	0.01	0.02
12	193	311	90	0.001	0.003
13	165	266	100	0.0002	0.0004