

838426

高等学校教学用书

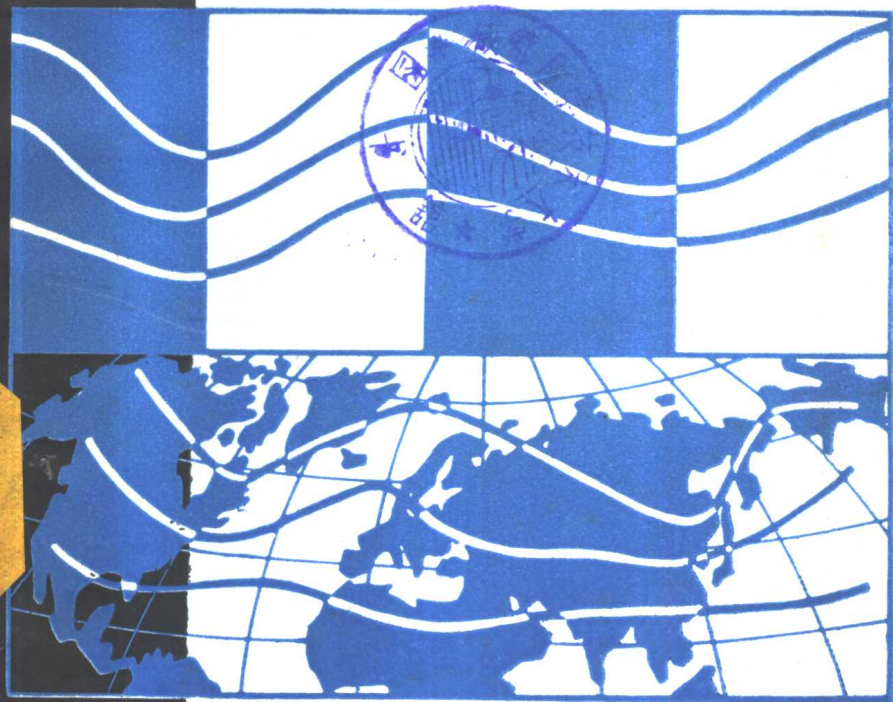
气象学基础

吴永莲 涂美珍 编

北京师范大学出版社

327

2634



838426

高等学校教学用书

气象学基础

吴永莲 徐美珍 编

北京师范大学出版社

编 委 会

主 编：赵淑梅

副主编：武吉华 郭瑞涛 冯嘉萍

编 委：赵淑梅 武吉华 褚广荣 刘吉楨 冯嘉萍 吴永莲
郑新生 高如珊 郭瑞涛 朱国荣 涂美珍 金 玲

高等学校教学用书

气 象 学 基 础

吴永莲 涂美珍 编

北京师范大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北固安县印刷厂印刷

开本：880×1168 1/32 印张：11.5 字数：279 千

1987年7月第1版 1987年7月第1次印刷

印数：1—4 000

统一书号：12243·6 定价：2.30元

说 明

目前，各类学校和各种形式办学所用教材供不应求，特别是中学地理教师进修教材，更是急需。为此，我们根据1984年教育部颁发的“中学教师进修高等师范专科地理专业教学大纲”（试行）编写了这套教材，包括中学地理教材教法，地球概论、地质学基础、地图概论，自然地理基础、气象学基础、中国地理和世界地理。

针对现有高等学校教材内容“偏深、偏难、偏多、偏杂”的缺陷，根据“在保证完成教学大纲规定的基本要求前提下，可以灵活掌握并作适当调整”的精神，我们编写的这套教材，力求作到浅一些、通俗一些、少一些、重点突出一些，以更好地适应当前中学教师进修的需要。

这套教材除适应中学教师进修使用外，也可供师范专科、函授、夜大等大专班使用。

这套教材准备1987年起陆续出版，以解决当前之急需。

由于时间急迫和我们的水平所限，内容难免有错误和不妥之处，望读者指正。

北京师范大学中师地理专业教材
编委会

前 言

作者在教学实践过程中体会到，对初学气象基本理论的学生来说，气象课程往往是颇感困难的。本书对气象现象及其物理过程的解释尽可能地深入浅出，进行了较为详细的讨论。为了更好地理解某些基本概念和建立三维空间概念，本书附有较多的插图。为了帮助读者掌握重点和消化课程内容，每章附有小结和复习思考题，力求使读者在学习过程中减少困难。最后附有实习内容，帮助读者掌握必要的、基本的观测手段。

本书共分六章并附有实习。第一、三、六章和实习一至五由涂美珍同志编写，第二、四、五章和实习六、七由吴永莲同志编写，最后由张如一、吴永莲统一校订。全书由郭瑞涛同志审定。在编写过程中，北京气象学院的蒋瑞宾、过文娟等同志提出了宝贵的修改意见。又承孟淑华、乐寒梅同志绘制了全部插图，在此一并深表谢意。

由于作者水平有限，难免有错，恳请指正。

编者 1986年10月

绪 论

地球外围的空气称为大气，研究发生于大气中的一切物理现象和过程的科学即为气象学。例如，风、雨、雪、雹、冷、暖、干、湿以及雷暴、台风、寒潮等等都是大气中发生的各种物理现象和物理过程。气象学就是研究这些气象现象的形成、变化规律及其时空分布的特点。

在气象学的研究中是用气象要素来表示的，主要的气象要素有气温、湿度、气压、风和降水等。这些要素彼此有密切的联系，而且又是与太阳辐射、大气环流、地表面特性等互相影响共同发生作用的。因此，研究大气中各种现象和过程之间互相联系和互相制约的规律性就是气象学研究的任务。而把这些规律应用到实践中去，进而使之控制天气、气候，改造气候是研究气象学的目的。

地理系开设气象课是因为自然地理环境是由地球的大气、岩石、水和生物圈组成的综合体，而组成自然地理环境诸要素是相互影响，相互制约的。例如，一切大气现象都是在自然地理环境中发生发展着的，而大气中的物理过程和物理现象又反过来对所在的地表面产生极大的作用。如气温、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；又如大气环流促使海水运动，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。可见，气象学与自然地理环境有着密切关系。

本课程在地理系开设的基本任务是：

一、正确解释大气中所发生的物理现象和物理过程以及天气

演变过程及其规律性。

二、为气候学、自然地理等课程所需的气象学知识打下牢固的基础。

三、掌握气象观测的基本技能。

目 录

绪 论	(1)
第一章 大气概况	(1)
第一节 大气的组成	(1)
一、干洁大气	(1)
二、水汽	(4)
三、气溶胶粒子和大气污染物	(5)
第二节 大气的结构	(6)
一、大气的垂直结构	(6)
二、大气的水平结构	(10)
三、大气圈与地球其它圈层的关系	(10)
第二章 大气中的热能和温度	(13)
第一节 太阳辐射 (短波辐射)	(13)
一、辐射的基本知识	(13)
二、太阳辐射	(19)
第二节 地面辐射和大气辐射	(32)
一、地面辐射	(32)
二、大气辐射	(32)
三、地面有效辐射	(34)
第三节 辐射差额和热平衡	(35)
一、地面辐射差额	(35)
二、大气系统的辐射差额	(37)
三、地气系统的辐射差额	(38)
四、热量平衡	(39)
第四节 大气的增温与冷却	(43)
一、气温的非绝热变化	(43)
二、气温的绝热变化	(45)
第五节 气温的时空变化	(53)

一、气温随时间的变化·····	(55)
二、气温的空间分布·····	(59)
第三章 大气中的气流·····	(69)
第一节 大气压力·····	(69)
一、气压及其单位·····	(69)
二、气压随高度的变化·····	(70)
三、气压场·····	(75)
四、气压随时间的变化·····	(86)
第二节 大气的水平运动·····	(91)
一、风的概念·····	(91)
二、风的成因·····	(91)
三、自由大气中的风·····	(100)
四、摩擦层中的风·····	(109)
五、地方性风·····	(112)
第三节 大气的垂直运动·····	(119)
一、空气垂直运动的原因和种类·····	(119)
二、大气稳定度·····	(121)
第四节 大气环流·····	(130)
一、大气环流的概念·····	(130)
二、大气环流的简单模式·····	(130)
三、实际大气环流的基本特征·····	(134)
四、锋区和急流·····	(144)
五、季风环流·····	(147)
六、大气环流的变化·····	(152)
第四章 大气中的水分·····	(16)
第一节 大气的湿度·····	(156)
一、湿度的各种表示方法·····	(156)
二、空气湿度的变化和分布·····	(159)
第二节 蒸发和凝结·····	(162)
一、水相变化·····	(162)

二、饱和水汽压·····	(164)
三、影响蒸发的因素·····	(167)
四、大气中水汽凝结的条件·····	(169)
第三节 水汽凝结物·····	(172)
一、地表面的水汽凝结物·····	(172)
二、大气中的水汽凝结物·····	(174)
第四节 降水·····	(182)
一、降水形成的宏观条件·····	(183)
二、降水形成的微物理过程·····	(183)
三、人工降水·····	(187)
四、降水的类型和分布·····	(188)
第五章 天气系统和天气过程·····	(192)
第一节 气团和锋·····	(193)
一、气团·····	(193)
二、锋·····	(198)
第二节 温带气旋和反气旋·····	(213)
一、气旋和反气旋概述·····	(213)
二、温带气旋·····	(220)
三、温带反气旋·····	(226)
第三节 中高纬度高空主要天气系统·····	(238)
一、西风带中的长波活动·····	(238)
二、西风带中的短波活动·····	(242)
第四节 副热带高压·····	(246)
一、概述·····	(246)
二、西太平洋副热带高压的结构和天气·····	(248)
三、西太平洋副热带高压脊的季节活动及其对我国天气的·····	
影响·····	(250)
第五节 热带主要天气系统·····	(255)
一、台风·····	(256)
二、赤道辐合带(热带辐合带)·····	(270)

三 东风波.....	(271)
第六节 中小尺度天气系统.....	(273)
一、中小尺度系统的主要特征.....	(273)
二、对流性天气形成的条件.....	(274)
第六章 大气中的光电现象.....	(281)
第一节 大气中光的现象.....	(281)
一、反射和折射的基本知识.....	(281)
二、曙暮光.....	(284)
三、虹与霓.....	(287)
四、晕.....	(291)
五、华.....	(293)
六、蜃景.....	(295)
第二节 大气中电的现象.....	(296)
一、大气的电离和大气中的电场.....	(297)
二、雷电现象.....	(298)
附录(气象实习)	(302)
实习一、中学气象园的建立.....	(302)
实习二、空气温度和土壤温度的观测.....	(305)
实习三、空气湿度的观测.....	(316)
实习四、气压的观测.....	(322)
实习五、风的观测.....	(336)
实习六、能见度和天气现象的观测.....	(341)
实习七、云的观测.....	(347)
主要参考书	(356)

第一章 大气概况

由于地球引力作用，地球周围聚集着一层深厚的连续的大气，构成了所谓的“大气圈”。我们人类就生活在这层大气的底部。大气和人类休戚相关，成为人类生活和生产所不可缺少的重要条件。

大气圈中，经常出现一些引人注目的云、雨、风、雹、闪电等物理现象以及增温、冷却、蒸发、凝结等物理过程。这些物理现象和过程的形成及其变化与大气本身的物理性质有密切关系。因此，在深入地研究这些现象和物理过程之前，有必要先就大气圈的一般特征作一简单介绍。

第一节 大气的组成

地球大气是多种气体的混合物，其中最主要的成分是氮、氧、氩、二氧化碳和水汽，此外还有一些含量不定的液态和固态微粒，如烟粒、雾滴、盐粒等。

对低层大气来说（从地面到90公里），可以看作是由干洁大气（即干空气）、水汽和大气杂质等三个部分组成的。

一、干洁大气

干洁大气是指不包含水汽、液体和固体杂质的大气。其主要成分是氮、氧、氩，这三种成分约占干洁大气总容量的99.97%，还有少量的二氧化碳、臭氧、氦、氖、氙等气体，加起来不超过0.01%。表1.1表明了25公里以下各种气体所占的比例及其主要性质。

表1.1 干空气的成分 (25公里以下)

气 体	空气中的含量 (%)		分 子 量	临界温度 (°C) 括号中为对应于临界温度的气压 (大气压)
	按 容 积	按 质 量		
氮	78.084	75.52	28.013	-147.2 (33.5)
氧	20.946	23.15	31.999	-118.9 (49.7)
氩	0.934	1.28	39.948	-122.0 (48.0)
二氧化碳	0.033	0.05	44.010	31.0 (73.0)
氟	1.8×10^{-8}	—	20.179	-228.0 (26.0)
氖	5.24×10^{-4}	—	4.003	-257.0 (2.3)
氦	1.14×10^{-4}	—	83.800	-63.0 (54.0)
氢	5.0×10^{-5}	—	2.016	-240.0 (12.8)
氙	8.7×10^{-8}	—	131.300	16.6 (58.2)
干空气	100	100	28.966	-140.7 (37.2)

从表1.1中可看出, 大多数气体的临界温度 (在这温度以上, 压力无论如何加大, 气体不再可能液化) 都很低, 自然界大气中不可能出现这样的低温, 虽二氧化碳的临界温度较高, 达 31°C , 但它液化时所需要的压力比实际的分压力大得多。因此, 干空气中各种气体总是处于气体状态。

干空气平均分子量与大气中含量最多的氮的分子量很相近。根据探测和分析表明, 在90公里以下大气成分的比例基本不变, 这是由于大气垂直运动, 乱流运动(空气不规则运动)和分子扩散使空气进行充分混合的结果。这些特点, 使我们可以把90公里以下干空气当成分子量为28.996的“单一成分”的气体来处理。使定量计算比较方便。

低层干空气中以氮、氧、二氧化碳、臭氧为最重要。它们对大气中发生的物理过程和物理现象有很大的影响，现分别介绍如下。

（一）氮气

氮气是大气中含量最多的成分，约占干空气质量的75%，是合成氨的基本原料。氮在自然条件下可以通过豆科植物的根瘤菌的作用，固定到土壤中，成为植物所需要的氮的化合物。空气中闪电能把大气中氮和氧结合成一氧化氮，然后被雨水吸收并透入土壤中成为硝酸盐，氮肥是植物的良好养料。

（二）氧气

氧气是大气中次多的成分，约占干空气质量的23%。它是人类呼吸维持生命极为重要的气体，也是其他生物不可缺少的要素。因而它是生命的基础，也是燃烧作用的必要条件。

（三）二氧化碳

二氧化碳在大气中含量很少，仅占整个大气质量的0.05%。二氧化碳主要来源于有机物燃烧、分解；生物的呼吸作用；火山，矿泉的喷发作用等等。二氧化碳是可变气体成分，它随时间和空间而变化。一般情况下，城市和大工业区可以超过0.05%，在农村含量较少。二氧化碳随季节和时间也有很大变化，一般冬季多，夏季少；夜间多，白天少；阴天多，晴天少。

二氧化碳是植物进行光合作用的重要原料，更重要的是它对太阳辐射（短波）的吸收能力很弱，而对长波辐射（地面辐射、大气辐射）有相当强的吸收能力，所以它的含量的增减能影响地面和大气的温度。

随着现代化工业的发展，大气中的二氧化碳的含量与日俱增。自1890年以来二氧化碳增加几乎一个量级，从1890—2000年估计将上升18倍。而二氧化碳上升10%，气温大约能升高0.5℃，事实上从1880—1940年每年平均温度上升0.4℃，可是从1940—1967年每年平均温度下降0.2℃。所以，二氧化碳对气候

的影响并没有完全解决，有待进一步深入研究。

（四）臭氧

臭氧在大气中含量极少，它是由氧分子在太阳紫外辐射或闪电作用下部分分解为氧原子，氧原子与氧分子化合，形成臭氧。低层大气中臭氧往往在雷雨、闪电时产生，其量甚少且不固定。而高层大气中臭氧的形成，主要是太阳紫外线作用引起的。自5—10公里起，臭氧含量逐渐增加，在20—25公里处达到最大值，形成臭氧层。

臭氧含量尽管极少，但它是地球大气中能强烈吸收太阳紫外线的主要气体。所以臭氧成为地面生物的保护层，使之免受过多紫外辐射的伤害。臭氧还直接吸收太阳短波辐射，成为平流层大气热能的主要来源。据推测，臭氧含量减少10%，就会危害人体健康，有可能导致皮肤癌患者的增加；会改变平流层内温度的分布，从而影响天气和气候。因此，臭氧层的存在对于地球上人类及生物活动是极其重要的。要尽量避免对臭氧层的破坏。

二、水汽

水汽是大气中唯一能够发生相态变化（即气态、液态、固态三者间可以互相转换）的成分。水汽含量随时间、地点和气象条件（如温度、风、云等）的不同而有很大的变化。按容积计算，其变化范围在0—4%之间。在低温干燥陆地上空接近于零，在高温海洋面上空可达4%。

水汽主要来源于江河湖海，湿土的蒸发和植物蒸腾。因而它主要聚集在大气的低层，向高空迅速减少，到1.5—2.0公里高度上，水汽含量大约相当于地面的一半；5公里高度上，相当于地面的十分之一左右；再往上更少。

大气中水汽含量虽然很少，但它在天气变化中扮演了重要角色。水汽的相态变化会引起云、雾、雨、雪等一系列的天气现象产生；并伴随有热能的释放和吸收过程。水汽还能强烈吸收地面

辐射并向地面和周围大气放出长波辐射，因而大气中水汽含量的多少和变化，对大气和地面的温度状况有着显著影响。

三、气溶胶粒子和大气污染物

所谓气溶胶粒子是指悬浮在大气中的固体或液体的粒子。大气中这一类成分所包含的物质，除由水汽变成水滴和冰晶外，主要是指尘埃和悬浮在空气中的其它杂质。它主要来源于地面燃烧所产生的烟粒、灰尘；有的是海水溅起在空中蒸发后留下的盐粒；有的是火山喷发留在空中的燃烧物、宇宙尘埃等。

大气中气溶胶粒子因时间、地区、高度而有差别。就地区来说，城市多于农村；陆地多于海洋。就时间来说，冬季多于夏季。空气的乱流运动对尘粒的垂直分布有很大影响。当乱流混合强时，尘粒可散布到高空；反之则集中在低层。

这些气溶胶粒子能吸收和散射太阳辐射，对空气的增温和冷却起一定的作用。其中一些成分是水汽凝结的核心，其数量的多少是成云致雨的重要条件。大气中气溶胶粒子的增多，使空气混浊，能见度差，严重时影响交通安全。

大气中除上述讲的三种主要气体外，由于人类生产和生活的影响，大气中还混入了各种各样的有害气体和烟尘。这些混入大气的有害气体和烟尘等，称为大气污染物。当大气污染物在大气中达到一定浓度而对人类的生产和健康造成直接或间接危害时，就认为大气受到污染，这种现象称为大气污染。

大气污染源主要是从烟囱、汽车排放出来的废气和工厂漏掉的有害气体等。据统计，目前世界每年排入大气的有害气体成分约6—7亿吨以上，微粒状的物质约2亿吨。这些有害物质有上百种，其中对人类及生物危害最大的有二氧化硫、一氧化氮、硫化氢、氟化物、粉尘、烟尘等。这些物质不仅直接污染大气，而且从空中降落到地面后又污染了地表及地下水、土壤和生物体。它严重地污染了环境，危害人民健康，影响农、牧、林业的发

展，而且也影响着天气和气候的变化。目前我国对大气污染已设立一些观测点和监测网，以掌握大气污染的程度，为采取防治措施提供依据。

第二节 大气的结构

一、大气的垂直结构

大气在垂直方向上的物理性质有明显的差异，根据温度的垂直分布、大气成分及大气垂直运动等情况，可将大气分为对流层、平流层、中间层、暖层、外层（散逸层）等五层（见图1.1）。

（一）对流层

对流层是大气圈最低的一层，它的下界为地面，上界随纬度和季节的不同而有变化。就纬度而言，低纬度平均为17—18公里，中纬度10—12公里，高纬度只有6—8公里。就其季节来说，夏季高而冬季低。

对流层的厚度同整个大气圈相比，虽然十分浅薄，但是它集中了整个大气质量的四分之三和百分之九十以上的水汽量。日常我们所看到的云、雾、雨、雪、风等主要大气现象都发生在这一层，因而也是气象学研究的重点层次。

此层具有三个主要特点：

①气温随高度的升高而降低。这一层接近地表面，受地表面影响最大。对流层中的热能主要来源于地表面，因而愈接近地面，大气获得的热能就愈多，气温也就愈高；离地面愈远，气温愈低。温度随高度递减的快慢，在不同地区，不同季节是有差别的，平均大约是每上升100米，温度递减 0.65°C （参考第二章第四节二）。

②对流层中水平方向的温度、湿度分布是不均匀的。主要是