

中等气象学校交流讲义

气象学

北京气象专科学校編

气象专业用



农业出版社

中等气象学校交流讲义

气 象 学

北京气象专科学校编

农 业 出 版 社 出 版

（北京老罐局一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 106 号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

农业出版社印刷厂印刷装订

统一书号 K 131·4.81

1961年7月北京初版

1961年7月初版

1962年3月北京第三次印刷

印数 5,081—10,080册

开本 787×1092 毫米

三十二分之一

字数 239千字

印张 十二分之一

定价 (7)八角五分

前 言

本講義是以北京气象专科学校所用气象学講義为基础并吸取几年来的教学經驗参照有关方面的資料編写而成的。本書可作为中等气象学校气象学的試用講義或教学参考書，也可供初級或中級气象工作人員自学时参考。

本講義的內容共分三篇：第一篇空气运动包括了大气的一般特性、空气的水平运动和垂直运动三个部分。第二篇介紹大气中的水分，其中主要包括：水汽凝結現象、降水和人工降水几部分。第三篇主要叙述大气中的声、光、电現象的成因和它們在补充天气預报中的意义。

为了使學生能够巩固所学得的知識，并达到学用一致起見，采用本講義教学时应适当配合一些实习和作业。至于講課順序可按照实际情况安排，不必受講義的限制。

由于編写時間匆促，理論水平有限，書中难免有錯漏的地方，希望讀者批評指正。

編者 1961 年 4 月

目 录

緒論.....	1
---------	---

第一篇 空气运动

第一章 大气的一般特性	5
-------------------	---

§ 1.1 大气的成分	5
§ 1.2 大气的垂直结构	9
§ 1.3 对流层中的水平非均一现象——气团和鋒	12
§ 1.4 空气密度	14
§ 1.5 气象要素	19

第二章 太阳辐射、地球辐射、大气辐射	25
--------------------------	----

§ 2.1 地球上能量的来源——太阳辐射	25
§ 2.2 辐射能的基本知識	25
§ 2.3 太阳、太阳活动	31
§ 2.4 沒有大气时的太阳辐射强度和太阳辐射能总量	32
§ 2.5 大气的消光作用	38
§ 2.6 太阳辐射在大气中减弱的一般規律	42
§ 2.7 经过大气到达地面的太阳辐射能	46
§ 2.8 地面辐射、大气辐射、有效辐射	54
§ 2.9 辐射差额(辐射平衡)	56
§ 2.10 热量差额(热量平衡)	58
§ 2.11 太阳辐射能的利用	61

第三章 土壤、水和空气的温度	63
----------------------	----

§ 3.1 控制下垫面增热和冷却过程的因子	63
§ 3.2 土壤的增热和冷却过程	65

§ 3.3 土壤中温度的日、年变化和垂直分布	66
§ 3.4 空气的增热和冷却过程	70
§ 3.5 海陆热状况的差异	72
§ 3.6 低层空气温度的日、年变化	73
§ 3.7 低层空气温度的地理分布	77
§ 3.8 气温的垂直分布	81
第四章 气压	85
§ 4.1 大气静力学基本方程	85
§ 4.2 拉普拉斯压高方程及其应用	86
§ 4.3 单位高度气压差与单位气压高度差	89
§ 4.4 等压面、等压线	91
§ 4.5 气压梯度	95
§ 4.6 气压的日变化和年变化	98
第五章 空气的水平运动	103
§ 5.1 形成风的几个主要的力	103
§ 5.2 空气的稳定运动	113
§ 5.3 不稳定运动	121
§ 5.4 龙卷风与尘卷风	126
§ 5.5 摩擦层中风随高度的变化	127
§ 5.6 自由大气中风随高度的变化——热成风	128
§ 5.7 风的日变化和年变化	135
§ 5.8 风力的利用	136
第六章 空气的垂直运动	137
§ 6.1 热力学第一定律在研究大气过程中的应用	137
§ 6.2 干绝热过程、干绝热递减率	139
§ 6.3 湿绝热过程、湿绝热递减率	142
§ 6.4 位温、假位温	146
§ 6.5 大气的垂直稳定度	151
§ 6.6 不稳定能量	152

§ 6.7 动力对流	160
§ 6.8 乱流	162
§ 6.9 大气的垂直交换	163
§ 6.10 大气中的逆温	165
第七章 大气环流概述	169
§ 7.1 热力环流原理、海陆风、山谷风	169
§ 7.2 简单的大气环流	175
§ 7.3 符合实际情况的大气环流	178
§ 7.4 季风	182

第二篇 大气中的水分

第八章 水相变化与水分循环	185
§ 8.1 水的三种形态的基本特征	185
§ 8.2 位相平衡与转变	186
§ 8.3 饱和水汽压	188
§ 8.4 水分循环	191
第九章 蒸发、湿度的变化	195
§ 9.1 自然条件下的蒸发	195
§ 9.2 蒸发的计算	197
§ 9.3 蒸发和湿度的日变化和年变化	199
§ 9.4 湿度的垂直分布	202
§ 9.5 湿度的地理分布	203
第十章 水汽凝结	205
§ 10.1 水汽凝结或凝华的条件	205
§ 10.2 凝结核、凝华核	207
§ 10.3 地面和地面景物上的水汽凝结物或凝华物	209
§ 10.4 低层大气中的水汽凝结物或凝华物——雾	211
§ 10.5 空中的水汽凝结物或凝华物——云	216
第十一章 降水	227
§ 11.1 降水及其形态	227

§ 11.2 云滴的增长.....	228
§ 11.3 降水的分类.....	231
§ 11.4 雨和雪的形成.....	232
§ 11.5 霰与雹的形成.....	234
§ 11.6 降水的日变化和年变化.....	236
§ 11.7 降水的地理分布.....	236
第十二章 人工控制局部天气	238
§ 12.1 云、雾的微物理结构	238
§ 12.2 人工降雨.....	242
§ 12.3 人工消雾、造雾	244
第三篇 大气中的声、光、电现象	
第十三章 大气声学	247
§ 13.1 大气中的音速及其与温度、湿度和风的关系	247
§ 13.2 大气中声音的传播轨道.....	252
§ 13.3 大气中声音的减弱.....	258
§ 13.4 有利和不利于听见的气象条件.....	258
§ 13.5 起源于天气现象的声音.....	259
第十四章 大气中的光学现象	262
§ 14.1 与光线散射有关的大气光学现象.....	262
§ 14.2 天文折射和地面折射所引起的光学现象.....	268
§ 14.3 云中的光学现象.....	272
§ 14.4 天空的视形状及其有关的现象.....	286
§ 14.5 能见度.....	288
第十五章 大气电学	297
§ 15.1 大气中离子的概念.....	297
§ 15.2 大气中的基本电离剂.....	298
§ 15.3 离子的消失过程.....	300
§ 15.4 降水的电荷.....	301
§ 15.5 雷雨云中电荷的分布, 闪电	303
§ 15.6 雷暴活动在地面上的分布.....	307
§ 15.7 极光.....	309

緒 論

§1 服务于生产的气象科学

在地球周围包围着深厚的空气层。这个空气层通称为大气或称地球大气。在大气中經常发生許多自然現象，例如严寒、酷热、风、云、雨、雪、閃电、雷声等等，这些現象属于大气中的物理現象，我們統称其为大气現象。研究这些現象的物理实質和它們演变規律的科学称为气象学。

大气中所发生的各种現象都与人們的生活和生产活动有着密切的关系。例如，人們适应着寒、暑、湿、燥来安排生活和生产，人們了解到风調雨順可以得到丰收，旱、涝、风、雹会造成灾害。因此，人們在生产和生活的实践斗争中，也就逐漸积累了丰富的經驗；随着生产力的不断发展与生产范围的不断扩大，以及科学技术的不断发展使我們有必要和可能进一步認識大气中各种現象的演变規律，因而气象科学就是这样来源于生产实践，并随着生产实践的发展而发展起来的。反轉过来，气象科学又服务于生产，促进了生产建設的发展。

我国的气象科学为生产服务是多方面的，首先在农业生产方面：全面貫徹农业“八字宪法”都和气象条件有着密切关系。作物的生长、发育、收获都需要适宜的溫度、光照、水分等气象条件。灾害性天气如大风、旱、涝、冰雹等对作物有致命的威胁。在推广优良品种、增加复种指数、防治病虫害等方面都必须考虑到气象条件。因

此,研究各种农作物在整个生长发育过程中,要什么天气和怕什么天气,从而因时因地因作物制宜的全面安排农事活动是争取农业丰收的必要保证。

在工业生产方面:如工厂的设计必须考虑到温度、湿度和风等气象条件,这对建设投资、产品质量和工人的健康都有一定的影响。此外,在进行开矿、冶炼和基本建设等都需要有良好的气象条件。

在交通运输方面:无论水、陆、空中的交通运输都受到天气的影响。强风、暴雨会阻塞去路,浓雾会影响飞机的起飞降落和船只的正常航行。在其它方面:例如,畜牧业、渔业、盐业、林业等也都受气象条件的影响,都需要与气象工作密切配合。

总之,气象与人类活动的各个方面都有着密切的联系。对气象科学进行深入地研究是我国社会主义建设中的一项目既艰巨而又光荣的任务。

§2 我国气象事业和气象科学发展的现状

我国的气象科学有着悠久的历史,一年四季的划分,以及二十四节气、七十二候等节令已早为我国劳动人民列入历书,作为农事活动的依据。这些成就是丰富的、巨大的。但在长期的封建统治和近百年来帝国主义的侵略下,使生产停滞不前,同时也阻碍了气象科学的发展。自一九四九年全国解放后,在党的领导下,人民的气象事业迅速地成长壮大起来,气象科学也在蓬勃发展,特别是一九五八年以后,在党的总路线、大跃进、人民公社三面红旗的光辉照耀下,在工农业生产大跃进的带动下,气象事业和气象科学的发展也进入了一个新的阶段。不论是短、中、长期天气预告和数值预告或者是农业气象、气候、大气物理以及人工控制局部天气等项工作都普遍得到开展,使气象工作成为各级党委领导生产的参谋。同时也

使我们摸出了一条在现阶段多快好省地发展气象事业的道路。在各级党委的领导下，贯彻执行了“依靠全党全民办气象，提高服务的質量，以农业服务为重点，組成全国气象服务网”的气象业务方針。这是党的总路綫及一整套“两条腿走路”的方針在气象事业上的具体体现。

§ 3 气象科学的对象和任务

既然气象科学是研究大气中的物理現象和演变过程的科学，因此在气象科学上是將大气当作研究的物質客体。而大气中的物理現象和演变过程的表现是多种多样的，它們之間也是相互联系与相互制約的，而且它們是在太阳輻射、下垫面——海、陆等表面的作用下产生的。因此气象科学中要詳細研究各种現象的物理本質和它們发生发展的原因以及随時間、地点演变的規律性。此外，气象科学是一門服务性的科学，为了使得气象科学紧密地結合生产建設上的需要，气象科学的研究对象便不仅限于大气，同时还应注意研究气象与其他生产知識或专业知識之間的相互联系，如气象与农业、林业、航空、漁业、盐业之間的关系等。

气象科学和其他科学一样，都負有認識和解释自然規律性的任务，只有这样才能掌握自然，最后充分的利用自然来为人类謀福利，根据这点摆在气象科学面前的任务是：

1. 記叙大气中所观测到的現象以及服务对象的情况，从定性和定量两方面來說明它們的特性。

2. 找出現象的正确解释，探索天气发展的規律，以及天气与服务对象之間的联系。

3. 根据所发现的規律推测未来大气現象的发生和发展趋势及其对生产部門的影响，并提出所应采取的措施。

4. 將已發現的規律性用于改造自然,使其服从于人类的需要。

由此可見,气象科学的任务不仅限于描述所要研究的現象,以及解釋其物理实質,而更重要的是根据气象科学原理利用其有利于生产的天气、气候条件,克服不利于生产的天气、气候条件,寻找改造自然的方法,从而为生产建設服务。

§ 4 本課程的性質和学习方法

本課程是解釋大气中所观察到的过程和現象的物理实質,着重闡明气象科学的基本原理。因此,在学习过程中应注意掌握其物理意义。

大气中的一切現象都是在不断地发生、发展,并随時間和空間而变化的。例如水汽在空中凝結形成了云,云层发展可降雨或雪;狂风暴雨往往随着悶热天气而到,雨过天晴后风息气爽,这些現象的发生、发展与变化都是大气不断运动的結果。在自然界中导致空气不断运动的能量源泉主要是太阳輻射能,当太阳輻射能投射到下垫面和大气以后,使得下垫面和大气之間发生了热量和水分的交换,引起了大气溫度場、湿度場和气压場的改变,便产生了空气运动以及大气状态的变化,形成各种大气現象。因此本課程主要是以大气运动为中心而闡述的。此外,学习本課程时,应注意掌握大气与下垫面間的外在联系以及各种現象之間的內在联系及其演变的規律。

本課程是气象科学的基础。它所采用的研究方法是观测、实验和理論分析法。从观测、实验所得到的資料,經过理論分析,找出有关現象发生发展的原因及其演变的規律。因此,在学习各项基本原理时,应和学习观测、天气、气候等課程中的实际問題联系起来,以便通过学好本課程,为学习其它专业課程打下牢固的基础。

第一篇 空气运动

第一章 大气的一般特性

我們知道，大气中所发生的各种物理现象和变化过程都直接或間接与大气的成分、結構、密度等一般特性有关。当然空气运动也不例外，因此，我們在研究空气运动以前，首先应探討一下大气的一般特性。

§ 1.1 大气的成分

包围在地球周围的整个空气层称为大气，大气是由多种气体混合而成的，大气中常含有水汽和其他浮悬于大气中的尘粒，若把这些除去，我們則称之为干洁大气。近地面层干洁大气主要的成分是氮、氧和氩，除此之外；还有少量的二氧化碳、氦、氖、氫、氙、臭氧等。在表(1.1)中可以看出低层干洁大气中各种气体含量的百分数和分子量。

大气中主要气体如氮、氧含量的百分数是几乎保持不变的；其中变化最大的是水汽、固态和液态質点，此外，二氧化碳和臭氧也有些变化，但其量不大。下面我們講一講这些容易变化的成分。首先討論常变化的气体成分——水汽、二氧化碳和臭氧。

大气中的水汽是由潮湿的陆面，植物叶面及广闊水面蒸发出来的，实际大气都是含有水汽的湿空气。大气中水汽含量的多少是

表1.1 干洁大气的成分 (25公里以下)

气 体	空气中的含量百分数		分 子 量
	按 容 积	按 质 量	
氮	78.09	75.52	28.016
氧	20.95	23.15	32.000
氩	0.93	1.28	39.944
二氧化碳	0.03	0.05	44.010
氟	1.8×10^{-3}	—	20.183
氦	5.24×10^{-4}	—	4.003
氖	1.0×10^{-4}	—	83.700
氪	5.0×10^{-5}	—	2.016
氙	8.0×10^{-6}	—	131.300
臭氧	1.0×10^{-6}	—	48.000

不定的,大气中的水汽含量愈多,空气的分子量则会愈小(干空气的分子量为 28.966,水汽的分子量为 18.016)。

大气中水汽含量的变化范围按容积来说约为 0—4%。一般来讲,低纬多于高纬,海上多于陆地。同时,水汽主要集中在离地面 2—3 公里以下的大气层中,高度愈高,水汽含量愈少。

水汽对大气中的热量起着很大的作用,水汽善于吸收和放射长波辐射,因而影响了地面和空气的温度。除此之外,水汽还可凝结成雨、雪、云、雾等水汽凝结物,它们下降到地表面上来,然后地面上的水分经过蒸发作用又回到大气中,如此周而复始,形成水分循环。

二氧化碳是由各种有机化合物氧化而生成的,当有机化合物燃烧及腐化时,以及生物呼吸时都排出了二氧化碳。大气中的二氧化碳含量依具体情况而定。例如,大工业城市市区按容积来说二氧化碳含量可超过 0.05%,而在近郊区空气中的平均含量约为 0.03%。一般的讲,二氧化碳的含量是:室内比室外多,夏天比冬天多。除此之外,由于空气垂直混合的结果,二氧化碳可以扩散到 20

公里高度附近,再往上二氧化碳的含量则显著地减少。

二氧化碳也善于吸收和放射长波辐射,因此它可以影响地面和空气的温度。

臭氧是由于氧分子分解成氧原子($O_2 \rightarrow O + O$),而后氧原子又和氧分子化合而成的($O_2 + O \rightarrow O_3$)。在通常情况下低层大气中的臭氧含量很少,而且也不固定,在上层大气中,臭氧形成主要是由于太阳紫外线的作用,所以在10—15公里以上的大气中经常有臭氧存在。在地面附近的臭氧平均含量按容积来讲只有0.000001—0.00001%,自5—10公里高度起臭氧含量开始增加,至20—25公里高度处臭氧含量达到最大值,从这层以上臭氧含量又重新减少,如图(1.1)。

大气中臭氧含量随纬度的变化如下:在赤道区臭氧含量最少,向高纬度逐渐增加,同时,在中高纬度的臭氧含量上也显示出季节的变化,春季最多,秋季最少,如图(1.2)。

臭氧虽然在大气中的含量很少,但是,它在大气中所起的作用却很大,臭氧具有强烈吸收紫外线的能力,因而影响了大气温度的垂直分布;此外,可以使地面上生物的细胞少受紫外线的破坏。同

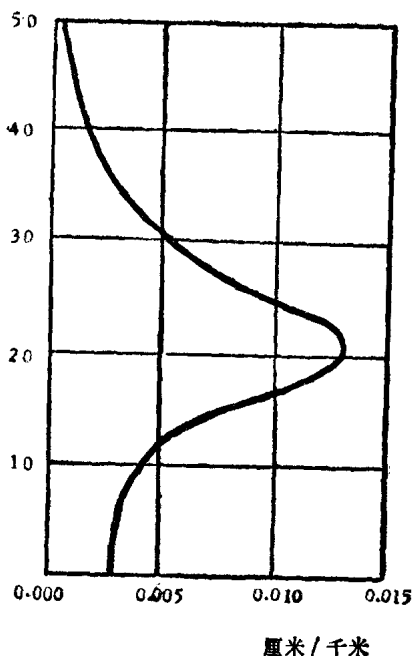


图1.1 臭氧随高度的分布

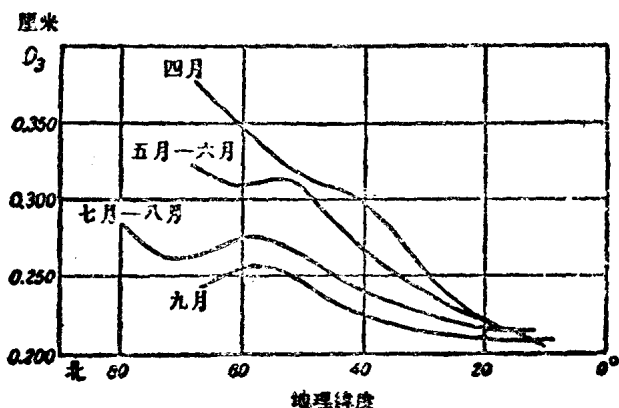


图1.2 臭氧含量在各个季节随地理纬度的变化

时,在低层大气中,因臭氧很不稳定,它分解成的氧原子与二氧化硫和一氧化碳结合后可以促使水汽凝结。

在低层大气中除含有以上的气体成分外,同时还经常悬浮着许多固态和液态质点,这些质点按来源和性质可分为以下三类:

一、微尘及烟:从地面、火山及宇宙来的极小的固体质点,它的来源有以下几种:

1. 由风从地面上卷起的尘土、微生物。
2. 由烟囱中排出的烟粒、煤屑和硫化物。
3. 海上浪花被风吹到空中经蒸发后残留的盐类。
4. 由火山喷出的灰烬。
5. 由陨石燃烧产生的或由宇宙太空落入大气中的宇宙尘粒。

二、水汽凝结物及凝华物:即小水滴和冰晶,它们多以云、雾的形式存在于大气中。

大气中的固态及液态质点的分布是不均匀的。例如,烟粒和灰尘等一般在工业城市比较多,而在乡村较少。大气中的固态和液

态质点多随着高度增加而很快的减少。

悬浮在大气中的固态和液态质点可以减弱太阳辐射和保持地面温度，如果含量较多时，还可以使能见距离缩短。

根据多年探测结果，高层大气的成分主要仍是由氮和氧所组成，只是在份量上与低层大气稍有不同，如图(1.3)。在高层大气中由于紫外线的

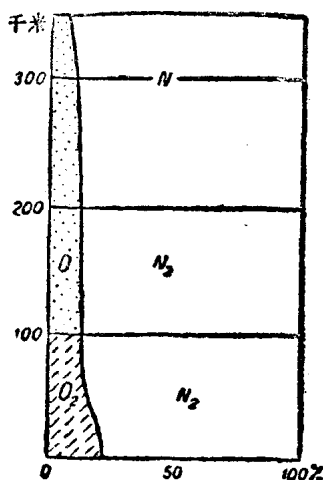


图1.3 各高度上大气的成分

外线的作用，使氧和氮都处于离解状态，在100公里以上氧完全离解，在200—300公里以上氮也处于离解状态。由苏联第三颗人造卫星的探测也证实了这一点。同时，实验证明在80—90公里以上的大气层中占主要地位的是原子状态的氧离子和氮离子。

§1.2 大气的垂直结构

大气在垂直方向上的物理性质并不是完全均一的，为了便于区分起见，我们主要参考了恰普曼提出的，以大气温度垂直分布为基础的分层法；并且考虑了大气中水汽的分布、导电性、扰动程度等不同性质把大气在垂直方向上分成六层。

一、对流层 这是最近地面的一层大气。整个大气有四分之三的质量都集中在这一层里。一般来说，在这一层中大气的温度是向上递减的，气温随高度的分布可以用气温垂直递减率(γ)来表示，

在对流层中,气温垂直递减率的平均值为 $0.6^{\circ}\text{C}/100$ 米。此外,在对流层中具有大规模的对流运动,并有大量的水汽凝结成云、降水等现象。同时,在这层中各个不同纬度不同地点的气象特征的差别也很显著。

对流层的顶层称为对流层顶。它是一个过渡层,厚约几百米到 1—2 公里,它所在的高度在热带约为 15—18 公里,温带为 8—12 公里,北极地方约为 9 公里。

对流层又可分为三层:

1. 下层或扰动层:这一层在 1—2 公里以下,受地面的机械和热力影响最大,故又名摩擦层。此层乱流交换作用特别强,低云、雾、霾等多发生在这层。

2. 中层:是指 2—6 公里的一层大气,它受地面的影响比下层为小。同时,各种主要降水的云大部分都出现在这一层,因此,这一层是天气变化的主要场所。

3. 上层:由 6 公里到对流层顶,这层受地面的影响更小,该层温度较低,终年都在 0°C 以下,水汽少而风速大。

二、平流层 它的下界是对流层顶,由此向上到 35—40 公里处为止几乎是一个等温层。在这层中的对流远比对流层中的对流要弱,空气温度也远比对流层低。平流层的上界是随时间和地点而不同的。

三、中间层 它的下界是平流层顶,向上温度逐渐升高,到 50 公里附近温度达到最大值。这是因为 50 公里附近是臭氧层的顶部,臭氧吸收了大量太阳辐射的结果。从此层向上温度又逐渐降低,到 85—95 公里(中间层的顶层)温度达极小值。

四、热层 处于中间层之上,上界在 400—500 公里处。从该层开始温度都是随高度增加的,因而在热层中以及热层以上的大气显著地被电离了。这一层中有很多的离子和自由电子,因此该层