

全国中等水产学校教材

气象学

山东省水产学校 主编

驾驶和捕捞专业用

中国农业出版社

全国中等水产学校教材

气 象 学

山东省水产学校 主编

驾驶和捕捞专业用

中 国 农 业 出 版 社

全国中等水产学校教材

气象学

山东省水产学校 主编

责任编辑 林维芳

出版 中国农业出版社

(北京市朝阳区农展馆北路2号)

发行 新华书店北京发行所

印刷 北京通县曙光印刷厂

* * *

开本 787mm×1092mm16开本

印张 12 字数 274千字

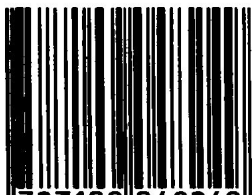
版、印次 1998年5月第1版

1998年5月北京第1次印刷

印数 1~2,400册 定价 13.20元

书号 ISBN 7-109-04824-1/P·9

ISBN 7-109-04824-1



9 787109 048249 >

前 言

本教材是根据农业部渔业局（原水产司）颁发的《气象学教学大纲》而编写的。除按照大纲的要求，较全面系统地介绍了有关气象要素、天气系统、海上气象观测和天气预报等基础知识外，为适应社会主义市场经济和生产实践中对气象新的要求，本书还增补了卫星云图、气象传真图、气象报告、气象导航和大洋气候等方面的新内容。

本教材为中等水产学校、水产职业学校、水产技工学校的航海驾驶、海洋捕捞、渔政管理等专业的教学用书，也可供培训职务船员和有关人员自学、考证参考使用。

编写过程中，本教材承蒙秦曾灏教授、吴守忠高级讲师、廖木星副教授的审阅及精心指导；中国气象局气象出版社陈红等同志通力协助绘图。在此一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

1997年1月

目 录

绪 论	1
第一章 大气概述	7
第一节 大气的组成	7
第二节 大气的结构	9
第二章 大气温度的	12
第一节 气温的表示	12
第二节 大气的热源	12
第三节 空气的增热和冷却	14
第四节 气温随时间的变化	18
第五节 气温的空间分布	20
第三章 大气中的水分	25
第一节 湿度及其表示方法	25
第二节 凝结过程与水凝物	27
第三节 雾	29
第四节 云	31
第五节 降水	36
第四章 大气压强	40
第一节 气压及其随高度的变化	40
第二节 气压的水平分布	42
第三节 气压系统的垂直结构	47
第四节 气压随时间的变化	48
第五章 大气的运动	50
第一节 空气的水平运动——风	50
第二节 大气环流	58
第六章 船上简易气象观测	69
第一节 气温和湿度的观测	69
第二节 气压的观测	73
第三节 风的观测	75
第四节 云的观测	80
第五节 能见度的观测	81
第七章 天气系统	83
第一节 气团	83
第二节 锋	86
第三节 温带气旋和反气旋	92
第四节 中高纬度高空天气系统	102

第五节 副热带高压	106
第六节 热带天气系统	109
第七节 热带气旋	111
第八节 中小尺度天气系统	128
第八章 天气预报	133
第一节 概述	133
第二节 天气系统的预报	134
第三节 卫星云图的应用	139
第四节 海上灾害性天气的预报	144
第五节 气象报告	149
第六节 气象传真图	152
第七节 船舶气象导航	163
第九章 大洋气候概况	167
第一节 太平洋	167
第二节 大西洋	168
第三节 印度洋	169
附录一 天气图的填写格式与分析	170
附录二 天气谚语选编	180
主要参考书	183

绪 论

一、气象学的领域 地球表面笼罩着一圈厚厚的气层，我们把包围地球的整个气层叫做大气。气象学就是研究大气中物理现象和物理过程的一种科学。它所研究的对象是与人类生产实践和生活活动息息相关的大气，或者说凡是天气的冷、暖、阴、晴、风、云、雨、雪等发生在大气圈内的自然现象，都是气象学研究的对象。这些现象，实为大气压力、大气温度、大气湿度、风、云、日照等气象要素的综合表现和交互反应。人类生存在大气圈内，对于天气的变化自然都很关切。学习和讨论气象学，就可以使人们对天气变化的情形，以及有关的气象科学有一个比较完整的概念。

气象学的领域很广。它有许多分科，例如，有研究大气性质及其变化原理的大气物理学；有研究大气中一切气象要素和现象，在短时间变化规律的天气学；有研究气象要素，长时间在空间分布和时间变动上的气候学；有专门研究自由大气的高空气象学；还有动力气象学、气象仪器学（或大气探测学）等等。由于天气变化与人类的活动关系密切，所以气象学有着广泛的应用范围。从应用对象的不同，气象学又分为航海气象学、航空气象学、海洋气象学、农业气象学、渔业气象学、军事气象学、卫生气象学等。这些都属于应用气象学的范畴，是研究气象与其他科学的关系并为其服务的学科，尽管它们在内容上有所不同，但在原理上却没有显著差异。近些年来，随着科学技术的迅速发展，人们以气象学为基础，运用科学方法，已能有效地影响局部天气，广泛地开展了人工增雨、人工消雹等工作。人为地进行大气模拟，深入开展探索其规律的工作，气象科学为越来越多的人所重视。

二、气象学的演进 气象学和其他科学一样，来源于人类的生产实践，又服务于生产实践，随着科学生产的发展，运用愈来愈科学的方法和技术，来逐步提高、建立和发展气象学。综观 3000 多年来的气象学发展的历史，可以概括为以下三个时期。

（一）萌芽时期 气象学的萌芽时期主要指 16 世纪中叶以前这一段漫长岁月。这时期的特点是人类由于生产和生活的需要，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了一定的解释。

我国在这一时期有许多有关气象学方面的创造和发明，而且居于世界领先行列。远在三千年前，殷墟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 10 天的天气，称为卜辞，并将实况记录下来以资验证。春秋战国时代已能根据风、云、物候的观测记录，确定廿四节气和七十二候，这对指导黄河流域的农业生产意义很大，并沿用到现在。秦汉时代的《吕氏春秋》、《礼记月令》等书籍，都是世界上最早记载物候的著作。

气象观测仪器也是我国最早发明。影响较大的首先是汉代张衡的“候风铜鸟”测风仪，它较西洋早一千多年出现。欧洲到 12 世纪才有用候风鸟测风的记录。其次是明朝永乐末年（1424 年），统一颁发了标准雨量器到各县使用，在此之前，宋朝秦九韶曾论述了雨量器容

积的计算。

这期间，由于生产和生活上的需要，人们迫切要求预知未来天气的变化，因而把长期观察实践中积累的丰富经验，以天气谚语的方式流传下来，便于记忆和运用。我国的天气谚语是极其丰富的，数目之多也是世界各国少有的。其中除一部分封建迷信的内容外，大多是历代劳动人民看天经验的结晶。后魏贾思勰的《齐民要术》、唐代黄子发的《相雨书》以及元末明初娄元礼的《田家五行》等著作，都是综合古代劳动人民的预报经验撰写的。

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《论衡》中的“龙虚”和“雷虚”两篇文章里，对于雷暴的形成作了初步解释。其中写到：“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”。在宋代沈括的《梦溪笔谈》中记载着孙彦先对虹的解释：“虹，雨中日影也，日照雨则有之”。其他如南宋朱熹对云雨的生成原因，也有合乎科学的解释。

在国外，气象学的萌芽也很早。公元前4世纪希腊大哲学家亚里斯多德（Aristotle）曾著有《气象学》一书，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称演变而来的。

总之，无论在我国还是在外国，这一时期就已奠定了气象学的基础，特别是中国古代，在气象学上有很大的贡献。

（二）初建时期 初建时期包括16世纪中叶到19世纪末这一期间。该时期由于欧洲工业的发展，推动了科学技术的发展，物理学、化学和流体力学等学科也快速发展起来，加上航海技术的进步，远距离商业与探险的活动扩大了人们的视野，促进了气象学的发展。这一时期内，气象仪器纷纷发明，地面气象观测台、站相继建立，形成了地面观测网，并因无线电技术的发明而绘制出地面天气图。从而使气象学的实际观测和理论研究初具规模，为近代气象科学奠定了良好的基础。

1593年意大利学者伽利略发明了温度计，1643年意大利学者托里拆里又发明了气压表。这两种重要仪器的出现，使气象观测大大向前跃进了一步。由于气压与天气变化有直接关系，气压表又给天气预测带来了极大的方便，因此气压表当时被称为“晴雨表”。随后又出现了毛发湿度表、风速计等观测仪器。

温度计和气压表等观测仪器的发明，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，以后其他一些国家亦相继建立了地面气象观测站，开始积累气象资料。但这时气象学还仅仅限于分散性的研究，缺少国际合作与交流。

在气象学领域里有组织的国际性合作始于1853年。那时以航海为其主业的国家举行集会，策划了一项在海上观测天气的计划，以增强海上作业者生命的安全性。大约在同一个时期，一些国家开始建立国家级的气象机构。这些国家虽掌握了陆上和海上的观测资料，但认为必须要有一种更为正规的合作体系，来收集更大范围的资料，这便导致了1873年国际气象组织的诞生。从此开始了气象界大规模的国际合作局面，促进了气象学的发展。

同时，在气象学的理论研究上，也取得了许多成果，主要成就有：关于海平面风压关系定律、气旋模式和结构、大气中光电现象和云雨形成的初步解释、大气环流的若干解释等。

我国气象学虽有悠久的历史，在古代曾处于世界先进行列，但由于封建统治的压抑，生

产水平的低下,气象学在这一时期几乎处于停顿状态。这期间,法国、俄国和德国先后在北京、上海和青岛等地建立观象台,为各自的军事、航海、商业服务,当时腐败的清政府无权过问,我们的气象事业完全处于半殖民地的统治。

(三) 发展时期 从20世纪以来,是气象学的发展时期。这一时期总的特点是,随着生产发展和科学技术的进步,无论在探测手段和理论研究方面都有了重大突破。气象观测工作从近地面扩展到了更广阔的三维空间;气象预报从定性阶段进入到定量阶段;人类从认识自然,逐步向预测自然、控制和改造自然的方向发展。

早在19世纪末,人们就开始用气球和风筝携带自记气象仪器进行大气垂直观测。本世纪初,无线电技术在气象观测领域的应用得到了发展,人们便利用无线电探空仪进行高空探测。到50年代,许多国家又发射了气象火箭,使高空气象探测技术得到了进一步发展。

从本世纪初到50年代间,气象学在理论研究上建立了三大学说:一是锋面学说的创立;二是长波理论的建立;三是提出了降雨学说。

更为重要的是国际气象组织在1947年由非政府机构改为政府机构——世界气象组织(WMO)。世界气象组织的宗旨是促进观测网的国际合作及情报的快速交换,促进观测的标准化及气象应用于农业、航空、航海等人类各项活动,促进水文与气象的密切合作,加强气象有关领域的研究和培训。世界气象组织公约于1950年3月23日生效,宣告世界气象组织正式诞生。中国是世界气象组织的创始国之一。世界气象组织的诞生促进了世界气象事业的发展。

20世纪50年代以后,随着电子计算机、雷达、激光、人造卫星等技术的发展和运用,气象学也出现了突飞猛进地发展。

50年代后期,电子计算机被引入气象预报工作,人们开始采用数值计算的方法对区域及全球大气的运动进行预报。目前数值预报的业务已遍布全球,数值预报得到了广泛的应用,使天气预报实现了客观定量化。

为了满足数值预报对气象资料更高的要求,气象观测工作的范围和内容也越来越广泛,观测的手段和方法也越来越多样化。1960年4月1日美国成功发射世界上第一颗气象卫星,开创了从空间观测地球大气的新时代,使大气探测科学技术进入了现代化空间遥感阶段。30多年来,全世界已发射了150多颗气象卫星,目前仍有十几颗在继续工作着。已有100多个国家和地区建立了上千个气象卫星数据接收利用站。气象卫星资料在天气预报、气候变化监测、地球环境与灾害监测等方面发挥了巨大的作用。

第二次世界大战中出现的雷达,战后很快被用于天气监测。目前天气雷达在世界各国使用极为普遍,许多国家的天气雷达都已组网。天气雷达用于监测局部地区的天气变化,主要监视热带气旋、暴雨及强对流天气系统的活动。美国研制的10cm多普勒雷达已作为下一代天气雷达用于气象业务探测,它具有较强的警戒龙卷等强风暴天气的能力。

这一时期,气象学的进展还表现在:一是国际上组织开展了大规模的观测试验。曾两次组织过对南北极区的气象考察,取得了一些高空气象与太阳及地球关系的资料;至少进行过4次有几十个国家参加的大规模大气试验,规模一次比一次大,我国也参加了这一活动。二是对大气物理现象进行数值模拟试验。从全球性环流到云内云滴的生成过程都进行试验,并把云雾中的微观过程和动力宏观过程结合起来,使气象学进入试验科学阶段,这

些试验都离不开电子计算机。三是把大气作为一个整体进行研究,把对流层与平流层、中高纬地区与低纬地区、南半球和北半球结合起来进行研究。四是人类对大气中的化学现象和化学过程进行了多年的观测分析和总结,并形成了气象学中一个新的支脉——大气化学等。

在气象学的发展时期,我国的气象事业经历了一个逐步发展完善的过程。新中国成立前,气象工作进展十分缓慢,气象台站寥寥无几,气象仪器设备陈旧简陋,气象资料残缺不全。新中国的诞生,为气象工作注入了生机和活力,气象事业得到了迅速发展。尤其是改革开放以来,气象工作成绩斐然,超过了历史上任何一个时期。目前我国大约已建成约2500个地面观测站,120多个探空站,各型天气雷达站240多个,卫星云图接受站点约80个。各类站点星罗棋布在祖国各地包括高山、海岛、高原、沙漠在内的广大地区,形成了覆盖全国的气象观测台站网,并于1985年2月和1989年2月分别在万里之外的南极洲建立了长城、中山两个气象站。

标志着我国气象事业不断前进的另一个重要方面是气象仪器设备的更新换代。建国前,我们的气象仪器全部需从国外进口。建国后,气象部门与生产部门密切合作,开始了气象仪器设备的研制、生产。到60年代,常规的气象仪器已基本国产化。以后又陆续研制成功了多种型号的天气雷达、气象卫星云图接受设备、自动气象站等一系列探测和接收工具。1988年和1990年自行研制并发射了极轨气象卫星“风云1号”和静止气象卫星“风云Ⅱ号”。这标志着我国气象科技水平已步入世界先进行列。与此同时,我国还在研制生产具有多普勒功能的新型雷达和其他类型的雷达系统。

我国的气象科研工作同样是硕果累累。其主要成果有:1982年我国自行研制的北半球五层原始方程模式(B模式)和有限区五层原始方程细网格模式开始投入业务使用;中期数值天气预报系统和有限区数值天气预报系统已于1991年6月正式投入使用,目前世界只有少数国家开展了这项业务;大尺度大气动力学的研究;台风、暴雨等灾害性天气的较准确预报;热带气象和季风以及高原气象的研究等等。在人工影响天气方面,已经开展了云雾物理、人工增雨和人工消雹等工作,并取得了较好的效果。在气候及其气候变化方面的探讨也取得了进展。尽管如此,我国的气象事业与世界先进国家仍有较大的差异,我们必须加速气象现代化的进程。

气象学从来都与人类社会的进步并驾齐驱,随着经济建设的不断发展,科学技术的不断提高,气象学的前程将更加广阔。

三、气象与渔业的关系

(一)风对渔业的影响 风对海上捕捞影响最大。狂风恶浪给海上作业带来许多困难与不便,有时可出现严重的海难事故,造成船毁人亡,需要高度重视。

风向、风力的变化对鱼群活动影响很大。一般说来,迎风区浪大,鱼群容易分散,不利于捕捞;背风区浪小,鱼群相对集中,有利于捕捞。此外,鱼群喜栖息在岛屿、礁石的背风面,故而根据风向和地形选取作业场所是必要的。

大风来到之前,鱼类常常会在某处聚集,这可能是由于鱼类本身具有对“气压波”与长浪(涌浪)刺激的生理本能,因而迅速集游向刺激小的海区。大风来到时,鱼群被风浪冲散,但风浪稍一停息,鱼类又会相对集中,这多是因大风引起海水剧烈运动,改变了海

水的温度、盐度与饵料条件，鱼类不约而同地朝着适合其生理要求的环境聚集。故大风前后都是围捕的良机，“抢风头，赶风尾”，往往会取得高产量。

渔汛期间，鱼发情况和风情也有密切关系。如春汛期间，吕泗渔场小黄鱼渔汛在偏南风提早出现且风力较强时就会提前。冬汛期间，越冬洄游的带鱼自北南下游向闽东渔场时，若出现偏南风鱼群南下速度就会减慢，这时渔船顺风顶流拖网，一般可获高产。

(二) 气温对渔业的影响 气温的变化会影响航行与海上生产作业。例如，气温和船体结冰关系密切，当海上气温降至 -10°C 左右时，最易发生船体结冰，形成巨大的冰块，它不仅使船只的负载加重，同时还会削弱船只的稳定性。

气温的高低还影响着水产资源和捕捞生产。不同鱼类的生活都有一定的温度界线，高于或低于此界线，鱼便不能正常生活，故不同的鱼类随水温的季节变化而进行季节性回游。由于气温和水温相互制约相互影响，因此，气温也成为左右鱼类活动的间接因素。例如，与鱼虾类关系密切的黄海冷水团，其强度和范围除与隆冬季节的强劲偏北大风有关外，也受夏季海面气温的影响较大。所以，气温对渔业的影响同样是不可忽视的。

(三) 降水对渔业的影响 降水的多少与强度直接影响海水盐度的高低，而海水盐度的高低是影响鱼类分布和活动的一个重要因素。这是因为一般的海洋生物对盐度都有一定适应范围的缘故。

各种鱼类对盐度的要求是不一样的，同一种鱼类在不同的生长阶段、不同的渔场对盐度的要求也不同。例如，小黄鱼在大河越冬场的适盐范围为 $0.032-0.0324$ ，在莱洲湾产卵场则为 $0.025-0.028$ ，降水过多或过少都会影响到沿岸的海水盐度，进而往往导致产卵场的偏移或影响到渔场的位置。

降水量的多少还直接影响鱼获量和旺发期的长短。例如，1955年舟山群岛大黄鱼汛期因降水过多，海水盐分下降，鱼群离去，造成减产；在浙江墨鱼汛期，如天热雨多，捕获量大为增加，但倾盆大雨或连续降雨出现后，乌贼又会减产。资料表明，在连续降雨后，鱼群较密集，降雨期越长，旺产期也越长。但如果降水强度太大，又会引起鱼场位置的转移，特别在浅水区暴风骤雨易使水文要素变得剧烈。总之，降水对渔业的影响是很显著的。

(四) 日照对渔业的影响 日照能够对渔业产生一定的影响，这是由于不同鱼类对光有不同的要求，有的鱼类喜光照，有的鱼类则不适应强烈的光照。故鱼类随着一天光照的变化，有时上浮，有时下沉。日光的强弱，还常常影响浮游生物的增减，因而也就影响到鱼类的食料及鱼群的活动规律。鱼类在产卵期一般选择日光充沛、食料丰富的场所，这对捕捞来说是有利的时机和地点。据研究，英国每年5月份的鲈鱼捕获量同日照成正比。但是日照过多有时也能产生灾害。在盛夏时节若日光强烈，内海湾中浮游生物的繁殖会激增，吸收了大量氧气，使氧含量下降，同时又因腐败分解而产生毒素，就会导致鱼、虾大量死亡。

至于雾与渔业的关系是不言而喻的。因为雾是大量的小水滴或水冰晶飘浮在低空，严重影响着人们的视程。海上航行，一旦遇上浓密的海雾，船只便要迷失方向，虽然借助仪器可以导航，但仍有海难事故不可避免地发生。海雾多出现在冷暖两支海流交汇的海域，那里往往又是著名鱼场所在地。这是因为寒流水质肥沃而暖流水温较高，所以鱼类可以到冷流中摄食，到暖流中产卵，进退自由，故是鱼类生存的良好场所。

四、研究气象学的意义 气象学的研究任务是：根据大气中所观测到的现象，从定性

和定量两方面来说明它们的特性；正确解释这些现象，着重研究它们的发展规律；根据所认识的规律，为预测未来大气的发展过程和人工影响与控制局部天气提供科学的理论依据。

对驾驶捕捞专业而言，气象学是它的专业基础课。通过气象学的学习，可以使我們获得基本的气象科学知识，为学习其他专业课程和今后从事海上驾驶捕捞工作奠定必要的理论基础。

从学习本课程开始，就应随时注意天气的变化和各种大气现象的特点，逐步养成关心天气的习惯。对于教材中的一些概念和理论，应当深入地理解它们的物理意义，并联系平时所见到的天气现象，运用所学过理论来加以解释。要掌握天气预报及海上气象观测的简单方法，对天气作出大致判断，以此来培养分析和解决实际问题的能力，为我国海洋渔业的发展贡献力量。

第一章 大气概述

第一节 大气的组成

大气是由多种气体混合组成的，此外还包括一些悬浮的固体杂质和液体微粒。气象上常把大气分为干洁空气、水汽和杂质三部分。

一、干洁空气 大气中除水汽和液体、固体杂质以外的整个混合气体称为干洁空气。它是大气成分的主要部分。

干洁空气的主要成分是氮、氧、氩，它们占干洁空气总容积的百分数分别是 78.08%、20.94%、0.93%，总计达 99.9% 之多；干洁空气的次要成分为二氧化碳、氢、氦、氖、氫、氙、臭氧等稀有气体，它们的总含量不超过 0.1%。干洁空气所有这些成分，在一般自然界的气温、气压条件下，总是保持着气体状态。

由于大气中存在着空气的垂直运动、水平运动、湍流运动和分子扩散，使不同高度、不同地区的空气得以进行交换和混合，因而在 30km 高度以下，干洁空气除二氧化碳和臭氧等易变气体外，其他成分的比例基本保持不变。这一点已被多次探测和分析的结果所证实。

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，使氧不致于太浓、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的比例虽然极少，但对大气温度分布和人类生活却有较强的影响。

臭氧主要是在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。大气中的臭氧，随高度的变化而改变。在近地面层臭氧含量很少，从 10km 高度开始逐渐增加。在 20—25km 高度处达最大值，形成所谓“臭氧层”，再往上，臭氧的含量逐渐减少，到 55—60km 高度上就极少了。臭氧能够大量吸收太阳辐射的紫外线部分，使 10—55km 的气层增热，形成上热下冷的稳定层结。同时，臭氧使地球上的万物生灵免受过多紫外线的伤害，仅透过少量紫外线起到杀菌治病的作用。所以，臭氧层影响到生物圈的存亡和整个大气环流的变化。但近些年来，由于人类对高空大气的影响（如喷气式飞机的喷射物质、核爆炸、氯氟甲烷等），使大气臭氧层遭到了不同程度的破坏，因而使过多的紫外线透射到地面上来，进而使低层气温升高，这给全球的天气、气候及生态平衡带来了不良的影响。因此，已引起科学界的高度重视。

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、植物的呼吸都能产生二氧化碳。由于这些作用集中在大气的底层。因此，二氧化碳主要分布在 20km 以下的低层大气，再往上含量便显著地减少。20km 高度以下，大气中二氧化碳一般占 0.03%，略因时间和空间而不同，大致是夏季较少，冬季较多；农村较少，城市较多。在大工业城市，二氧化碳的含量可达 0.05% 或 0.07%，甚至更多。当其含量达到 0.2%—0.6% 的时候，对人类已经有害了。有关资料统计表明，由于化石燃料的燃烧，每年进入大气的二氧化碳量，从 20 世纪初到 80 年代已增加一倍之多。通过其他途径进入大气的二氧化碳量也在迅速增加^①。

二氧化碳对气候有“温室效应”。因为二氧化碳对太阳短波辐射吸收很少，因而不能阻挡太阳辐射到达地面，但是它却可以吸收地面放出的长波辐射，使大气增温，大气再放出更多的辐射又返回来增暖地面，这种情况正如温室作用一样，故叫“温室效应”。国际气象组织和许多科学家认为，大气中二氧化碳含量的增多将导致全球气温、气候变暖。这是引起科学界对二氧化碳问题十分重视的重要原因。

二、水汽 大气中的水汽 (Vapor) 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升高而减少。观测证明，在 1.5—2km 高度上，空气中水汽含量为地面的一半；在 5km 高度上，为地面的 1/10；再往上，水汽含量就更少了。

大气中的水汽含量，除有垂直分布的变化外，还随时间和气象条件（如温度、风等）的变化而变化，并因纬度、地形和海陆的不同而有显著的差异。就水汽占空气容积的百分比而言，其变化范围在 0—4% 之间。一般纬度愈高水汽含量愈少；距海洋等水系愈远水汽含量愈少。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或热带多雨地区，水汽含量可高达 4%。

大气中水汽的含量虽然不多，但它在天气变化中扮演了一个重要角色。因为在一般自然界的条件下，水汽是大气中唯一能发生相变^②的气体，即在常温常压下，它可以变为水滴和冰晶，成云雾致雨雪，这是它和其他气体成分截然不同之处。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，所以对地面和空气的温度均有一定的影响。

通常称不含水汽（或水汽极少）的空气为干空气，称含有水汽的空气为湿空气。

三、杂质 大气中的杂质微粒有：尘土、烟屑、花粉、微生物、火山灰、流星尘以及来自海洋面上海水蒸发出来的微小盐粒。它们多集中在大气的底层。杂质微粒的分布情况是随时间、地区和天气条件而变化的。通常，陆上多于海上，城市多于农村，冬季多于夏季。空气的湍流运动和垂直运动对杂质的垂直分布有很大的影响，当这两种运动强时，微粒可 到高层，反之，多集中在下层。

悬浮在空中的杂质微粒，会使大气混浊，能见度变坏，影响航行。但它能充当水汽凝

^① 二氧化碳进入大气后，还要在大气内部及其同海洋与陆地之间进行交换和平衡。经过交换和平衡后，才能得到大气中二氧化碳含量的实际增加值。

^② 物质系统各相之间的相互转变过程称为相变。例如，气相变成液相的过程称为凝结，相反的过程称为蒸发；气相不经液相而直接变为固相的过程称为凝华，相反的过程称为升华；固相变为液相的过程，高温时称为溶解，在常温时称为融解，相反的过程称为凝固，在低温时称为冻结。

结的核心，促使云雨的形成。同时，它还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的影响。所以，杂质微粒在天气变化中的重要性，并不亚于空气的其他成分。

第二节 大气的结构

大气结构是指大气在垂直方向上的分层和水平方向上气象要素分布的不均匀性。后者将在其他章节叙述。

一、大气的高度 地球大气的总质量大约为 $5.136 \times 10^{18} \text{kg}$ ，由于地球引力的作用，这些质量的 98% 集中在 30km 以下的大气中，愈到高空空气的密度愈小，到 700—800km 高度处，气体分子之间的距离可达几百米远，这种情况，远远超过近代实验室中所获得的真空。继续往上，空气更加稀薄。但无论多高的高度，大气密度都不会减少到零的程度。实际上，即使在地球以外的宇宙空间，也不是绝对真空，而是有某种气体质点存在的。因此，地球大气和星际空间之间并不存在一个截然的界限。虽然如此，我们还是可以通过物理分析，确定一个最大高度来说明大气圈的垂直范围。

大气上界的划分，由于着眼点不同，所得的结论也不同。通常有两种划法：一是根据大气中出现最高的，只在大气中才存在，而星际空间没有物理现象所在的高度确定为大气的上界，根据观测资料，极光是大气中出现最高的物理现象，它可以出现在 1200km 的高度上，因此，可以把大气的上界定为 1200km；另一种方法是着眼于空气密度，用接近于星际的气体密度^① 的高度来估计大气的上界。按照人造卫星探测资料推算，这个上界大约在 2000—3000km 的高度上。我们一般把大气的高度看作 1200km。

二、大气的垂直分层 观测证明，大气在垂直方向上的物理性质是有显著差异的。按照气象要素垂直分布的特征，可将大气分成若干层次。一般常根据气温的垂直分布，同时考虑到大气电离状况和垂直运动等情况，将大气分为对流层、平流层、中间层、暖层、散逸层等 5 层。详细情况如图 1-1 所示。

图 1-1 中央两条曲线分别代表高纬地区和低纬地区温度随高度的平均分布情况。图中暖层中的 F 层、E 层以及中间层顶部的 D 层均为空气电离较强的层次（但 D 层只在白天出现），它们都能反射无线电波，有助于无线电通讯的进行。

下面介绍与人类活动关系最为密切的对流层和平流层的特点。

（一）对流层 对流层是地球大气的最低层。其下界是地面，上界则随纬度和季节等因素而改变。就其上界随纬度的变化而言，低纬地区平均为 17—18km；中纬度地区平均 10—12km；高纬地区则为 8—9km。就季节变化而言，夏季上界的高度大于冬季。

同大气总厚度比较起来，对流层很薄，它的厚度不及大气总厚度的 1%。但对流层却集中了 75% 的大气质量和 90% 以上的水汽质量，主要的天气现象（如云、雾、降水等）也都发生在这一层。因此，对流层是气象学研究的重点层次。

对流层还有如下三个重要特征：

① 据近代天体物理学研究，星际空间的中性气体质点密度为 1个/cm^3 ，电子浓度为 $10^2—10^3 \text{个/cm}^3$ 。

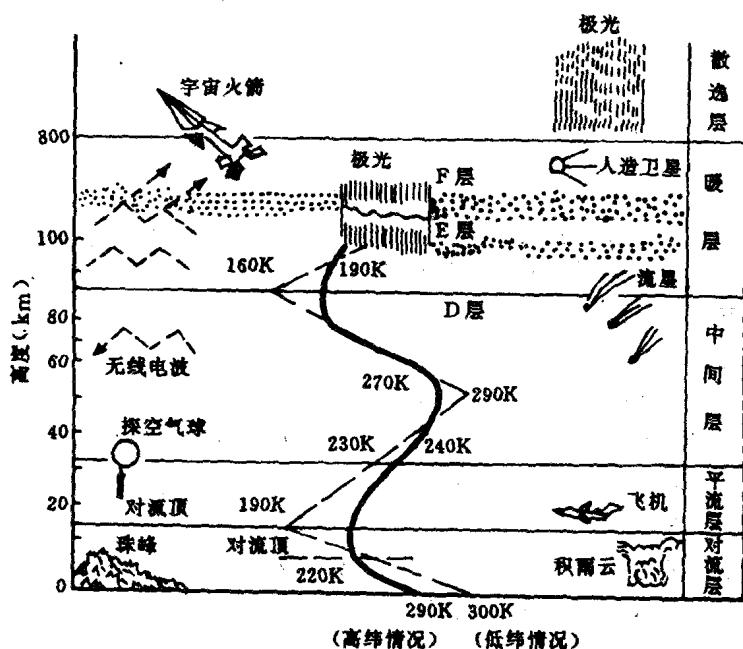


图 1-1 大气的垂直分层

1. 气温随高度的升高而降低 由于对流层空气的增热主要是依靠吸收地面长波辐射, 气层愈靠近地面, 获得的热量愈多, 气温也愈高, 因而, 一般说来, 气温随高度的升高是降低的。其降低的速率视地区、时间、高度及天气系统的不同而不同, 平均而论, 每上升 100m, 气温约降低 0.65°C 。这样, 到对流层上界处, 气温一般可降到 -50°C 以下。

在垂直方向, 每上升单位距离 (通常指 100m) 气温的降低值, 称为气温垂直递减率, 简称气温直减率 (单位为 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)。气温直减率有环境气温直减率 (γ) 和空气块气温直减率^① 之分。显然, 在对流层中, γ 平均值约为 $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

在对流层的某个层次, 有时也会出现气温随高度增高而升高的逆温现象, 出现逆温现象的层次称为逆温层 ($\gamma < 0$)。逆温层非常稳定。它能有效地抑制对流的发展。当它在近地层出现时, 有利于雾和毛毛雨的形成。

2. 空气有明显的对流运动 由于地表的不均匀加热, 使空气产生有规则的对流运动。对流作用把地面层的热量、水汽、杂质等带到空中, 并使上下层空气交换混合, 对成云致雨和大气透明度都有很大的影响。对流运动的强弱因纬度、季节和昼夜而不同, 一般说来, 低纬度强, 高纬度弱; 夏季较强, 冬季较弱; 白天较强, 夜间较弱。此外, 在该层中, 空气无规则的湍流运动也相当激烈。

3. 气象要素水平分布不均匀 由于对流层受地表的影响很大, 而地表性质又存在着显著差异, 因此, 在对流层中温度、湿度等气象要素的水平分布是不均匀的。如南暖北寒 (北半球), 海湿陆干等, 特别在冷暖气团交汇的地方, 差异更为显著。

① 空气块直减率又有干绝热直减率 (γ_d) 和湿绝热直减率 (γ_m) 之分。

在对流层内，按气流和天气现象分布的特点，可分为下层、中层和上层。一般把从地面至 1.5km 的气层作为对流层的下层，因其中空气运动受地面摩擦和空气湍流粘滞作用很显著，故也称其为摩擦层 (Friction layer)。在摩擦层中，因水汽充沛、尘埃含量较多，加上空气湍流的作用，故雾和低云出现频繁。从摩擦层顶到 6km 高度的一层为中层，它受地面影响比下层小得多，气流状况基本上可代表整个对流层空气的运动趋势。因此，是天气预报考虑的重要对象。云和降水现象大都发生在中层；上层的范围是从 6km 伸展到对流层顶部，这一层水汽含量较少，各种云都是由冰晶和过冷水滴组成。

总之，在摩擦层以上的大气，因离地较远，地面的摩擦作用很小，甚至可忽略不计，所以，通常称摩擦层以上的大气为自由大气。

此外，在对流层和平流层之间，有一厚度仅为几百米到 1—2km 的过渡层，称为对流层顶。对流层顶的主要特征是，气温直减率突然变小或几乎为零 ($\gamma=0$)，甚至还出现逆温现象 ($\gamma<0$)。因而，对流层顶有阻挡对流发展的作用，它能使绝大部分水汽和杂质保持在对流层中而不易向高处散逸，并常使发展旺盛的积雨云顶部平衍成砧状。

(二) 平流层 自对流层顶到 55km 左右的气层为平流层。在平流层内，随着高度的增加，气温最初保持不变或微有上升，到 25km 以上，气温显著升高，到平流层顶可超过 0°C ，比对流层顶高出 $50\text{--}60^{\circ}\text{C}$ 之多。平流层这种气温垂直分布的特征，主要与该层内臭氧的分布和臭氧直接吸收太阳辐射有关；平流层的第二个特点是，整层气流比较平稳，空气以水平运动为主，没有强烈的对流发展；由于该层内水汽含量极少，又缺少对流活动，因此没有云和降水现象出现，能见度较好，这是平流层的第三个特点。当然，冬季，在极区有时能见到出现在 20—27km 高度处具有奇异色彩的珠母云；夏季，在高纬度地区也可观测到夜光云。