

# 航空气象

黄仪方 朱志愚 主编



西南交通大学出版社

# 航空气象

黄仪方 朱志愚 主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 内 容 简 介

本书结合飞行实际,全面、系统地介绍了航空气象和天气分析方面的基础理论,与飞行有关的大气环境,影响飞行的恶劣天气的形成,对飞行的影响及应采取的措施,并根据实际工作的需要,介绍了航空气象资料的识别、分析和应用方面的问题。对充分利用有利天气,避开不利天气,预防和减少危险天气的危害,增加民航效益有重要作用。

全书共分13章。第1章到第4章是航空气象学的基础理论及常规天气资料的分析方法,第5、6章讨论了对飞行有重要影响的恶劣天气,第7章和第8章是高空和长途飞行所必须具备的国内和世界航空气候概况知识,第9章和第10章介绍了卫星云图、地面及机载气象雷达基本知识,第11章和第12章介绍了重要航空气象资料,第13章是天气资料的应用和航空气象服务有关内容。

本书是为民航飞行、航行管制、签派和航行情报本科学员编写的,也可供民航气象人员和飞行保障人员阅读参考。

### ----- 图书在版编目(CIP)数据

航空气象/黄仪方,朱志愚主编. —成都:西南交通大学出版社,2002.10  
ISBN 7-81057-679-8

I. 航... II. 黄... III. 航空学:气象学  
IV. V321.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第069717号  
-----

## 航 空 气 象

黄仪方 朱志愚 主编

\*

出版人 宋绍南

责任编辑 刘婷婷

封面设计 朱开文

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码:610031 发行科电话:87600564)

http://press.swjtu.edu.cn

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

\*

开本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:21.875

字数:542千字 印数:1—2000册

2002年10月第1版 2002年10月第1次印刷

ISBN 7-81057-679-8 / V · 011

定价:23.90元

# 前 言

《航空气象》是飞机驾驶、空中交通管制和航行情报、签派专业的一门专业基础课。它的任务在于使学生掌握系统的航空气象学基础理论，了解影响飞行的恶劣天气，能翻译和应用各种气象资料，在不同的气象条件下，有效地利用气象知识，为提高民航的效益和保障飞行安全服务。

飞行人员、空中交通管制人员和民航其他非气象专业人员对气象知识的要求主要有三个方面：一是气象学基本理论，即要掌握大气的运动状态，各种天气现象的发生、发展与变化规律；二是要了解影响飞行的恶劣天气对飞行的危害，以及在飞行活动中如何避免这些危害；三是常规天气图及飞行气象资料的分析 and 运用能力。在飞行活动中，只有及时获取气象情报，并正确分析所获得的航空气象资料，才能对飞行环境中的天气及其变化情况做到胸中有数，避害趋利，安全顺利地飞行。

本教材参考了国内外同类飞行院校的气象教材，贯彻理论联系实际的原则，在取材上尽量反映国内外最新成果，所选气象资料的格式采用民航最新实际资料，使之更加适合于民航各类专业人员的需要。改革开放和民航科技水平的提高，为飞行活动提供了大量现代化气象资料，如卫星云图、雷达图等，对它们的分析和应用在实际工作中越来越重要。我们结合飞行实际，对卫星云图和雷达图做了详细的介绍，并附了大量图片。根据民航教材的特殊要求，本书采用了符合国际民航通用标准的单位和符号，例如速度单位 kn(海里/小时)表示为 KT，以及表示高度的英尺等。

本书由中国民航飞行学院《航空气象》教材编写组编写，本书第 1 章、第 2 章、第 3 章由朱志愚编写，第 4 章由邹波编写，绪论及第 5 章、第 6 章和第 10 章由黄仪方编写，第 7 章和第 8 章由程小慷编写，第 9 章由段炼编写，第 11 章、第 12 章和第 13 章由王永忠编写。黄仪方对全书结构和内容进行了统一、审定和修改。

由于我们水平有限，缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者  
2002 年 9 月

# 目 录

绪 论	1
第一章 大气的状态及其运动	4
第一节 大气的成分及结构	4
第二节 基本气象要素	9
第三节 空气的水平运动	18
第四节 空气的垂直运动	28
本章小结	34
思考题	35
第二章 云和降水	37
第一节 云的分类和外貌特征	37
第二节 云的形成与天气	41
第三节 云的观测	45
第四节 降水	46
本章小结	50
思考题	50
第三章 能见度与视程障碍	52
第一节 能见度	52
第二节 视程障碍	57
本章小结	60
思考题	61
第四章 常规天气分析	62
第一节 常规天气图分析	62
第二节 温度—对数压力图	70
第三节 气团和锋	72
第四节 锋面天气及对飞行的影响	78
第五节 重要天气系统	82
第六节 天气预报的基本方法	92
本章小结	100
思考题	101
第五章 雷暴及其他对流性天气	103
第一节 雷暴的结构和天气	103



第二节	雷暴的种类及活动特征	111
第三节	雷暴与飞行	117
第四节	特殊地形下的对流性天气	122
本章小结		129
思考题		129
<b>第六章</b>	<b>中低空飞行的大气环境</b>	<b>131</b>
第一节	低空风切变	131
第二节	飞机颠簸	139
第三节	飞机积冰	148
第四节	山地和高原飞行气象特点	156
第五节	沙漠地区及海上飞行气象条件	162
本章小结		167
思考题		168
<b>第七章</b>	<b>高空飞行气象环境</b>	<b>170</b>
第一节	高空、平流层的一般气象条件	170
第二节	高空急流和晴空乱流	175
本章小结		182
思考题		182
<b>第八章</b>	<b>航空气候概况</b>	<b>184</b>
第一节	大气环流	184
第二节	我国航空气候要素分布	191
第三节	我国各区航空气候特征	198
本章小结		207
思考题		207
<b>第九章</b>	<b>卫星云图及其应用</b>	<b>209</b>
第一节	卫星云图上云的识别	209
第二节	卫星云图上天气系统的分析	217
本章小结		220
思考题		221
<b>第十章</b>	<b>气象雷达</b>	<b>222</b>
第一节	气象雷达对目标的探测	222
第二节	机载气象雷达	228
本章小结		235
思考题		235

第十一章 常用航空气象资料	236
第一节 飞行气象图表	236
第二节 航空气象电报	246
本章小结	260
思考题	260
第十二章 缩写明语形式的气象资料	262
第一节 航空天气报告	262
第二节 航空天气预报	269
第三节 飞行气象图表	285
本章小结	292
思考题	292
第十三章 航空气象资料的分析和应用	296
第一节 飞行计划对天气的考虑	296
第二节 航空气象保障	301
本章小结	304
思考题	304
附 录	305
参考文献	310
附 图	313

# 绪 论

蔚蓝色的天空浩瀚而又深远，像大海一样充满着神秘和诱惑，天空中时而是风和日丽，时而又风起云涌，有时是朝霞满天，有时又雪花飘飘。形形色色的天气现象，使我们生活的这个世界变得绚丽多彩、气象万千。

气象学就是研究大气中的物理现象和物理过程的一门学科。

气象学古老而又年青，因为人类最早的科学实践就是对天气的观测，天气与人类的生活关系极为密切。古代的人，哪怕他们还不会记数，没有文字，但已经会观测天气。我国是世界上文明发达最早的国家之一，在很早的时候，我国就对某些大气现象进行了观测和记载。从河南安阳出土的甲骨文表明，在公元前 13 世纪，我国就有关于风、云、雨、雪和龙卷、雷暴的记载。在周朝，就设立了进行天文和气象观测的官吏，并修建了专门进行观测的高台，如河南登丰的测景台。观测的内容有日月的运行，星星的移动，彩虹和台风的出现，有时还观测彗星和地震。以后，随着铁器的普遍使用，农业和畜牧业有了较大的发展，人们对天气的观测和记载也越来越细致了。在春秋战国时期，就已经确定了 24 个节气，这些节气对现在的农业生产仍然有极大的指导意义。1973 年，我国考古工作者在发掘湖南长沙马王堆汉墓时发现了被称为《天文气象杂占》的帛书，距今已有两千一百多年，书中绘有许多云和大气光象，这是世界上最早的气象图谱。

其他的文明古国，对天气现象的观察也很早，古希腊的哲学家泰勒斯就进行过天气观测和预报，以农业立国的埃及，由于尼罗河经常泛滥，很早就注意对暴雨的观察；印度是季风盛行的国家，因而十分重视对季风进退的观察；注重航海的希腊，最关心的是风、风暴和雷雨，甚至把这些现象的知识刻记在沿海城市的石碑上。

气象学的萌芽虽早，但很长时期以来一直没有形成一门独立的科学，而是依附于物理学。1592 年，意大利物理学家伽利略发明了温度表；1643 年，托里拆利进行了著名的托里拆利真空实验并发明了气压表；5 年后，法国物理学家巴斯噶在法国的多姆山的山麓和山顶进行了气压观测，证明气压是随高度而降低的。人们在航海中发现台风是猛烈旋转的风暴，1857 年荷兰物理学家白贝罗发现了风压定理。这一段时间，风速表、湿度表等也相继发明，有了这些基本的气象仪器，人们开始了科学的气象观测。

在中国，古代气象观测和预报往往以农谚的形式表现出来，“天上鲤鱼斑，晒谷不用翻”，“七月秋风雨，八月秋风凉”等就是其中的代表，这些天气谚语都是非常有用的，而且有一定的科学根据。但是由于生产力落后，科学水平低下，这种简单的归纳法是很难奏效的，“天有不测风云”就形象地说明了当时气象预报的现状。

气象学的真正发展是从 19 世纪中叶开始的。这时有线电报已普遍使用，1860 年欧洲各国开始建立气象观测网，用天气图来预报天气；1915 年，以 V·皮叶克尼斯为首的挪威气



象学者提出了锋面分析法和气旋波动学说，为短期天气预报奠定了理论基础；20世纪30年代，吉贝龙-劳德森建立了降雨学说，瑞典气象学家罗斯贝创立了大气长波理论。这个时期，气象学有了长足的进步，逐渐从收集资料过渡到理论分析的阶段。20世纪50年代，在气象观测上开始使用雷达，60年代起利用气象卫星进行观测，70年代激光技术的应用和80年代开始在天气分析和预报中大量使用电子计算机，气象信息的传递也实现了网络化，所有这一切，使气象学已经发展成了一门新兴的尖端的科学。

航空气象学是研究不同气象条件同飞行活动和航空技术之间的关系，研究航空气象保障的方式和方法，以及飞行器在地球大气层中飞行时的气象问题的一门学科。飞机在大气中飞行，大气状态的每一变化都会对飞行活动带来影响，严重时甚至可危及飞行安全。据国际民航组织的统计，仅由于气象原因造成的严重空中事故，就占民航总事故的10%~15%；与气象直接或间接有关的事故占民航总事故的三分之一左右。

大气对飞行活动的影响可大致分为以下几个方面：

### 1. 基本气象要素变化对飞行的影响

气温、气压、空气湿度等基本气象要素的变化都会对飞机性能、某些机载仪表的指示发生一定的影响。如气温升高时，飞机空速表示度会减小，飞行性能（如起飞、着陆滑跑距离，爬升率，最大平飞速度等）会变差。

### 2. 空气运动对飞行的影响

空气每时每刻都在运动着，给飞行活动带来直接的影响。如地面风会影响飞机起降；空中飞行时，在航程一定的情况下，顺风飞行会缩短飞行时间，逆风飞行会延长飞行时间，侧风飞行时如不加以修正，飞机会偏离预定航线；空气的垂直运动和乱流运动会引起飞机飞行高度的变化和飞机颠簸；低空风切变可严重危害飞行安全等。

### 3. 天气现象对飞行的影响

云、雾、降水、雷暴等天气现象都会对飞行活动产生不同程度的影响，如恶劣能见度、飞机积冰、飞机颠簸等都常与某些天气现象联系在一起。

这并不是说人们在天气面前无能为力，恰恰相反，这正好说明了学习和研究航空气象的重要。任何天气现象的出现，都有一定的发展过程，航空气象研究的目的，就是要认识大气运动的形式，研究各种天气现象的出现和演变规律，并应用这些规律来预测大气的运动变化，使气象条件充分为我所用。

大气运动和天气变化有时间和地区的显著差别。

就时间而言，大气无时无刻不在运动，天气随时都是发展变化的，而且在发展过程中的各个阶段，往往又互有区别。四季的天气不同，白天和夜间的天气也有区别，就是同一个天气系统，在不同发展阶段，天气也不尽相同。如四川盆地一年的天气变化是：春多夜雨天气多变，夏日晴热暴雨频繁，秋季云低连绵阴雨，冬暖少晴雾霾弥漫。盆地不同季节的天气对飞行的影响也不一样。就地区而言，由于各个地域的纬度、地形、地表性质、水陆分布等具体情况各不相同，因而各个地区的大气运动、天气变化情况有明显的地域特点。例如高纬度和低纬度地区的天气不同，山地和平原的天气不同，海上和陆上的天气不同。因而，不同地区的大气运动、天气变化也有不同的特点，飞行气象条件也有很大差异。我国地域广大，环

境差异明显，东北的大风、华南的雷暴、青藏高原的颠簸和四川盆地的大雾，形成了各有特色的影响飞行的天气。

随着航空事业的发展，飞机性能的提高，大型飞机的增多，气象对飞行的影响不仅依然存在，而且对航空气象保障提出了更高的要求。目前，飞行活动与气象条件之间的关系正在从气象条件决定能否飞行，变为在复杂气象条件下如何飞行的问题。气象条件是客观存在的，但它对飞行活动影响的好坏，却往往因人们主观处置是否得当而有不同的结果。航空气象保障就是为航空活动提供需要的气象情报及提出安全合理的综合措施，因此飞行人员、空中交通管制人员和民航其他工作人员都要具备相当的航空气象知识，才能做到充分利用有利天气，避开不利天气，预防和减少危险天气的危害，增加效益，顺利完成飞行任务。

# 第一章 大气的状态及其运动

包围着地球的整个空气圈称为地球大气，简称为大气。飞机的飞行活动是在大气中进行的，我们必须对大气本身有充分的了解。

## 第一节 大气的成分及结构

### 一、大气的成分

在讨论大气中的气象现象及天气过程时，可将大气看作一种混合物，它由三个部分组成：干洁空气、水汽和大气杂质。

#### 1. 干洁空气

干洁空气是构成大气的最主要部分，一般意义上所说的空气，就是指这一部分。由图 1-1 可以看出，干洁空气主要由氮气和氧气构成，其体积分别占整个干洁空气的 78% 和 21%。余下的 1% 由其他几种气体构成，这些气体称为痕量气体，如二氧化碳、臭氧、氩气、氖气等。干洁空气的这一比例在 50 km 高度以下基本保持不变。

在构成干洁空气的多种成分中，对天气影响较大的是二氧化碳和臭氧。

除臭氧之外，大气中各种成分的气体几乎不能直接吸收太阳辐射，大量的太阳辐射可穿过大气层到达地面，使地面增温。二氧化碳对地球具有“温室效应”的作用，二氧化碳基本上不直接吸收太阳短波辐射，而地面受热后放出的长波辐射却能被二氧化碳吸收，这样热量就不能大量向外层空间散发，对地球起到了保温作用。二氧化碳主要来自于有机物的腐烂，工业生产排放的废气，动物的呼吸等。现代社会工业生产和人类生活污染的不断增长，使大气中的二氧化碳越来越多，对大气温度的影响已引起了人们的严重关注。气温变化会对天气、气候变化产生一系列重大影响，对飞行气象条件也会产生相应的影响。

臭氧能强烈吸收太阳紫外线，它是氧分子在太阳辐射作用下离解为氧原子，氧原子再和别的氧分子结合而形成的。在海拔 15 ~ 50 km 的高度上，是一个臭氧含量相对集中的层次，称为臭氧层。臭氧层通过吸收太阳紫外辐射而增温，改变了大气温度的垂直分布。同时，也使地球生物免受了过多紫外线的照射。由于汽车、飞机及其他工业生产等大量废气的排放，臭氧层已遭到一定程度的破坏，科学家已观测到南极上空的臭氧空洞，即臭氧层遭到破坏后

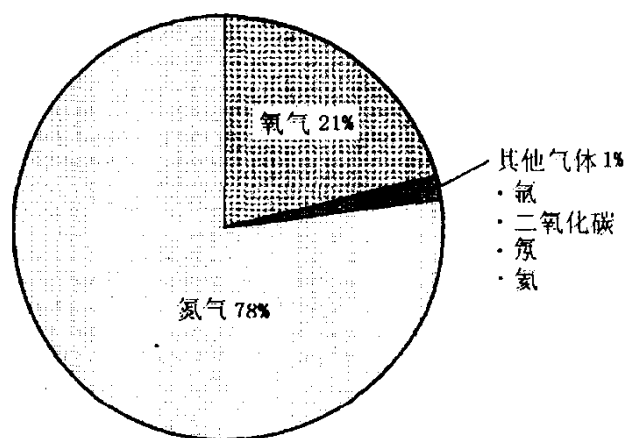


图 1-1 干洁空气的成分

出现的臭氧减少或消失。这对地球上的天气、气候、地球生物等都可能产生长久的影响。

## 2. 水汽

地表和潮湿物体表面的水分蒸发进入大气就形成了大气中的水汽。大气中的水汽含量平均约占整个大气体积的 0~5% 左右，并随着高度的增加而逐渐减少，在离地 1.5~2 km 高度上，水汽含量约为地面的一半，5 km 高度上仅为地面的十分之一。水汽的地理分布也不均匀，水汽含量（按体积比）平均为：从极区的 0.2% 到热带的 2.6%，干燥的内陆沙漠近于零，而在温暖的洋面或热带丛林地区可达 3%~4%。

水汽是成云致雨的物质基础，因此大多数复杂天气都出现在中低空，高空天气往往很晴朗。水汽随大气运动而运动，并可在一定条件下发生状态变化，即气态、液态和固态之间的相互转换。这一变化过程伴随着热量的释放或吸收，如水汽凝结成水滴时要放出热量，放出的热量称为凝结潜热。反之，液态的水蒸发成水汽时要吸收热量。水汽直接冻结成冰的过程叫凝华，而冰直接变成水汽的过程叫升华（图 1-2）。

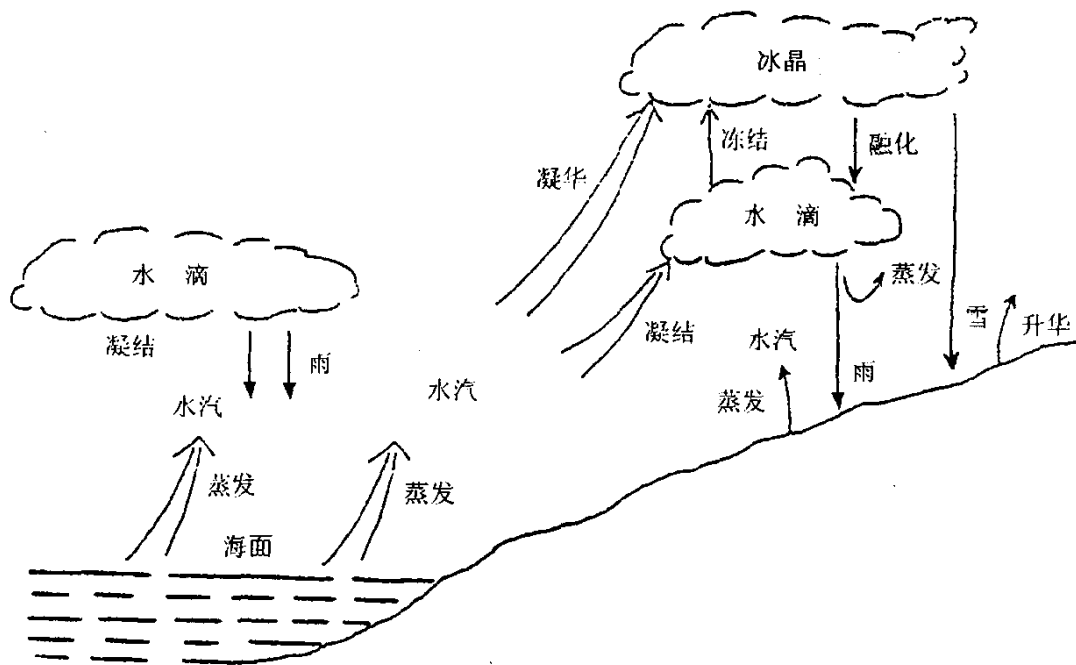


图 1-2 水汽相变与循环示意图

在大气中运动的水汽，通过状态变化传输热量，如甲地水汽移到乙地凝结，或低层水汽上升到高空凝结，就把热量从一个地方带到了另一个地方。热量传递是大气中的一个重要物理过程，与气温及天气变化关系密切。

## 3. 大气杂质

大气杂质又称为气溶胶粒子，是指悬浮于大气中的固体微粒或水汽凝结物。固体微粒包括烟粒、盐粒、尘粒等。烟粒主要来源于物质燃烧，盐粒主要是溅入空中的海水蒸发后留下的盐核，而尘粒则是被风吹起的土壤微粒和火山喷发后在空中留下的尘埃。水汽凝结物包括大气中的水滴和冰粒。在一定的天气条件下，大气杂质常聚集在一起，形成各种天气现象，如云、雾、雨、雪、风沙等，它们使大气透明度变差，并能吸收、散射和反射地面和太阳辐射，影响大气的温度。此外，固体杂质还可充当水汽的凝结核，在云、雾、降水等的形成过程中起着重要的作用。

## 二、大气的结构

整个大气层具有相当大的厚度，从垂直方向看，不同高度上的空气性质是不同的，但在

水平方向上空气的性质却相对一致，即大气表现出一定的层状结构。这一结构可通过对大气进行分层来加以描述。

(一) 大气垂直分层的依据

大气分层的主要依据是气层气温的垂直分布特点，这一特点可用气温垂直递减率来描述。气温垂直递减率定义为：

$$\gamma = -\Delta T / \Delta Z \quad (1-1)$$

式中  $\Delta Z$  为高度变化量， $\Delta T$  为相应的温度变化量，因此  $\gamma$  表示的是气温随高度变化的快慢。从上式中可看出，气温随高度上升而降低时  $\gamma$  值为正，气温随高度上升而增高时  $\gamma$  值为负。实际运用中，通常将  $\gamma$  的单位取为 ( $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )，即每 100 m 摄氏度。

知道某高度  $Z_1$  的气温为  $T_1$ ，气层的气温垂直递减率为  $\gamma$ ，则另一高度  $Z_2$  的气温可用下式计算：

$$T_2 = T_1 - \frac{(Z_2 - Z_1)}{100} \cdot \gamma \quad (1-2)$$

通过大气探测发现，大气结构如图 1-3 所示。大气可分为对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层五层。

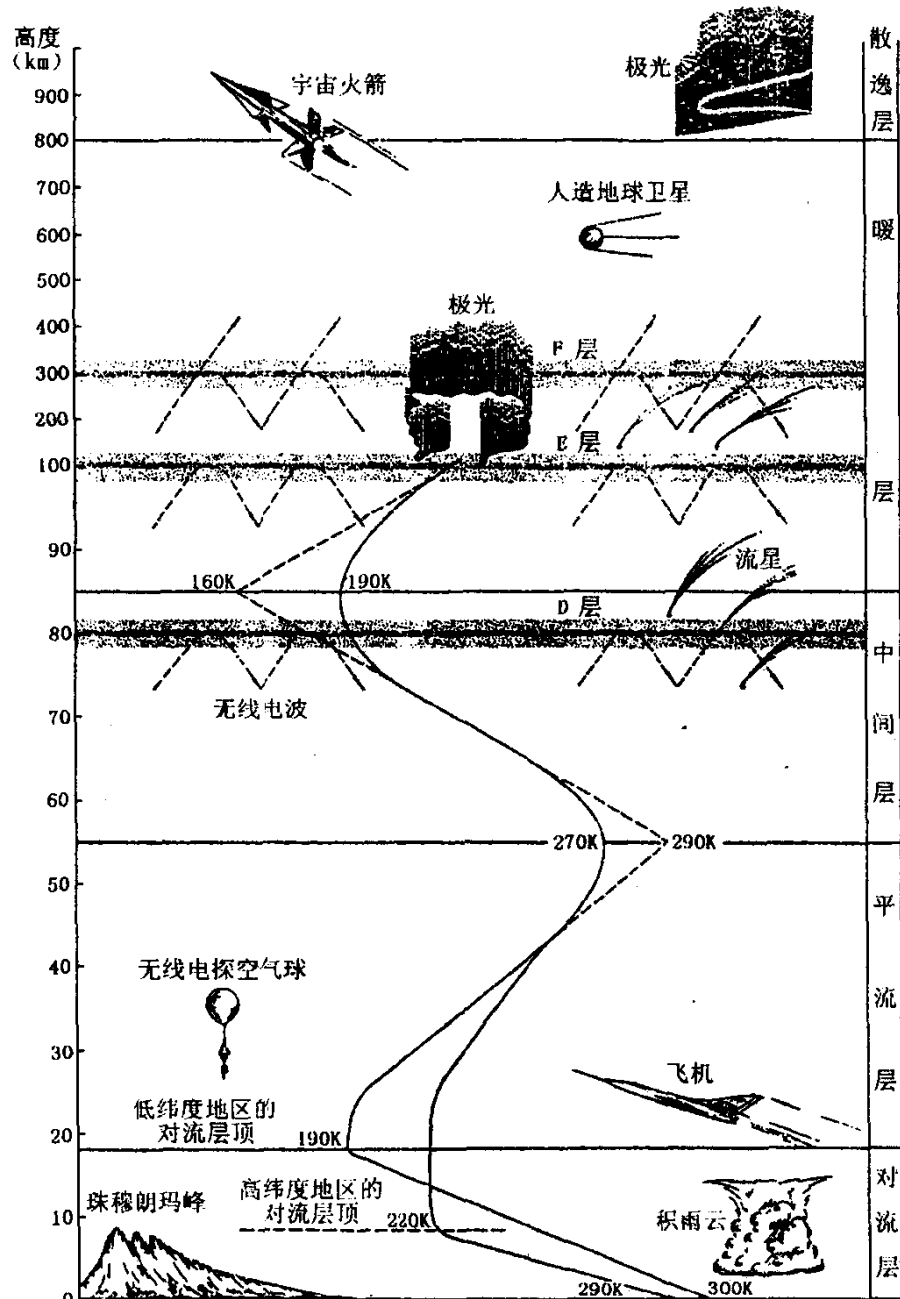


图 1-3 大气结构示意图

## (二) 重要气层的特征

### 1. 对流层

对流层因为空气有强烈的对流运动而得名，它的底界为地面，上界高度随纬度、季节、天气等因素而变化。平均而言，低纬度地区（南北纬  $30^\circ$  之间）上界高度为  $17 \sim 18 \text{ km}$ ，中纬度地区（纬度  $30^\circ \sim 60^\circ$ ）为  $10 \sim 12 \text{ km}$ ，高纬度地区（纬度在  $60^\circ$  以上）为  $8 \sim 9 \text{ km}$ 。同一地区对流层上界高度是夏季大于冬季，此外，天气变化对对流层的厚度也有一定影响。

相对于整个大气层来说，对流层是很薄的一层，但由于大气是下密上疏的，因此对流层集中了约 75% 的大气质量和 90% 以上的水汽，云、雾、降水等天气基本上都出现在这一层，飞机也主要在这一层中飞行。

对流层有以下三个主要特征。

(1) 气温随高度升高而降低。对流层大气热量的直接来源主要是空气吸收地面发出的长波辐射，靠近地面的空气受热后热量再向高处传递，因此在对流层，气温普遍随高度升高而降低（ $\gamma > 0$ ），高山常年积雪就是这个道理。根据实际探测，对流层中的平均气温垂直递减率  $\bar{\gamma} = 0.65^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 。利用这一数值，如果已知某地地面气温为  $T_0$ ，可以大致推算出该地  $Z$  高度上的气温  $T_z$ 。

$$T_z = T_0 - \bar{\gamma}Z \quad (1-3)$$

但  $\gamma$  的实际值是随时间、地点、高度而变化的，按上述方法计算有时会出现误差。

在对流层中虽然气温的普遍分布是随高度升高而降低，但有时也会出现  $\gamma = 0$  或  $\gamma < 0$  的气层：在  $\gamma = 0$  时，气层气温随高度没有变化，我们称之为等温层；在  $\gamma < 0$  时，气层气温随高度增加而升高，我们称之为逆温层（图 1-4），它们对大气运动或某些天气现象的形成具有特殊的作用，这将在后面讨论。

(2) 气温、湿度的水平分布很不均匀。对流层与地面相接，其温、湿特性主要受地表性质的影响，故在水平方向上分布很不均匀。如南北空气之间明显的温差，海陆之间空气的湿度差异等。

(3) 空气具有强烈的垂直混合。由于对流层低层的暖空气总是具有上升的趋势，上层冷空气总是具有下沉的趋势，加之温度水平分布不均匀，因此对流层中空气多垂直运动，具有强烈的垂直混合。

对流层中，按气流和天气现象分布的特点，可分为下、中、上三个层次：对流层下层（离地  $1500 \text{ m}$  高度以下）的空气运动受地形扰动和地表摩擦作用最大，气流混乱。中层（摩擦层顶到  $6000 \text{ m}$  高度）空气运动受地表影响较小，气流相对平稳，可代表对流层气流的基本趋势，云和降水大多生成于这一层；上层（从  $6000 \text{ m}$  高度到对流层顶）受地表影响更小，水汽含量很少，气温通常在  $0^\circ\text{C}$  以下，各种云多由冰晶或过冷水滴组成。

在离地  $1500 \text{ m}$  高度的对流层下层又称为摩擦层，在  $1500 \text{ m}$  高度以上，大气几乎不受地表摩擦作用的影响，故称为自由大气。

### 2. 平流层

对流层之上是平流层。平流层范围从对流层顶到大约  $55 \text{ km}$  的高度上，现代大型喷气式

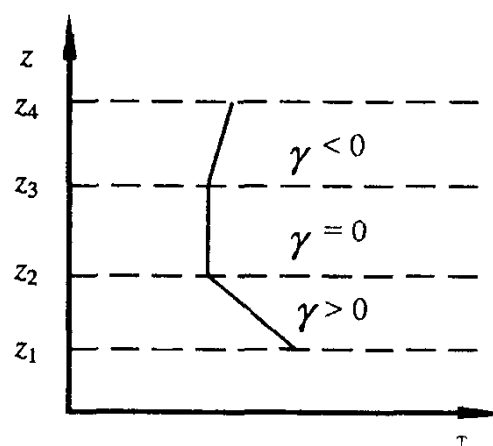


图 1-4 气温垂直递减方式



运输机的高度可达到平流层低层。平流层中空气热量的主要来源是臭氧吸收太阳紫外辐射，因此平流层中气温随高度增高而升高，整层空气几乎没有垂直运动，气流平稳，故称之为平流层。平流层中空气稀薄，水汽和杂质含量极少，只有极少数垂直发展相当旺盛的云才能伸展到这一层来，故天气晴朗，飞行气象条件良好。平流层大气受地表影响极小，空气运动几乎不受地形阻碍及扰动，因此气流运动，温、湿分布也比对流层有规律得多。

对流层与平流层之间的过渡气层叫对流层顶，它的作用就像一个盖子，阻挡了下层水汽、杂质的向上扩散，使得对流层顶上、下的飞行气象条件常有较大差异。

平流层以上各层与航空活动关系不大，故不再讨论。

### 三、标准大气

实际大气状态是在不断变化着的，而飞机的性能和某些仪表（高度表、空速表等）的示度，都与大气状态有关。为了便于比较飞机性能和设计仪表，必须以一定的大气状态为标准。所谓标准大气，就是人们根据大量的大气探测数据，规定的一种特性随高度平均分布最接近实际大气的大气模式。

目前由国际民航组织统一采用的标准大气，与我国 45°N 地区的大气十分接近，低纬度地区则有较大偏差。我国规定，在建立自己的标准大气之前，取其 30 km 以下部分作为国家标准，其特性规定如下：

- (1) 干洁大气，且成分不随高度改变，平均分子量  $m = 28.9644$ ；
- (2) 具有理想气体性质；
- (3) 标准海平面重力加速度  $g_0 = 9.80665 \text{ m/s}^2$ ；
- (4) 海平面气温  $T_0 = 288.16 \text{ K} = 15^\circ\text{C}$ ；海平面气压  $P_0 = 1013.25 \text{ hPa} = 760 \text{ mmHg} = 1$  个大气压；海平面空气密度  $\rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3$ ；
- (5) 处于流体静力平衡状态；
- (6) 在海拔 11 000 m 以下，气温直减率为  $0.65^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ；从 11 000 ~ 20 000 m，气温不变，为  $-56.5^\circ\text{C}$ ；从 20 000 ~ 30 000 m，气温直减率为  $-0.1^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 。

标准大气的气温、气压和相对密度（某高度的空气密度与海平面空气密度之比）随高度的分布情况见表 1-1。

表 1-1 标准大气

高度 (km)	温度 ( $^\circ\text{C}$ )	气压 (hPa)	相对密度 (%)
20.0	-56.5	54.7	7.2
17.5	-56.5	81.2	10.7
15.0	-56.5	120.5	15.8
12.5	-56.5	178.7	23.5
10.0	-50.0	264.4	33.7
7.5	-33.7	382.5	45.4
5.0	-17.5	540.2	60.1
2.5	-1.3	746.8	78.1
1.0	8.5	898.7	90.7
0.5	11.7	954.6	95.3
0.0	15.0	1013.25	100.0

## 第二节 基本气象要素

表示大气状态的物理量和物理现象通称为气象要素。气温、气压、湿度等物理量是气象要素，风、云、降水等天气现象也是气象要素，它们都能在一定程度上反映当时的大气状况。本节讨论三种最基本的气象要素——气温、气压和空气湿度，它们也称为三大气象要素。

### 一、气温

#### (一) 气温的概念

气温是表示空气冷热程度的物理量，它实质上是空气分子平均动能大小的宏观表现。一般情况下我们可将空气看作理想气体，这样空气分子的平均动能就是空气内能，因此气温的升高或降低，也就是空气内能的增加或减少。

气温通常用三种温标来量度，即摄氏温标（ $^{\circ}\text{C}$ ）、华氏温标（ $^{\circ}\text{F}$ ）和绝对温标（ $\text{K}$ ）。摄氏温标将标准状况下纯水的冰点定为  $0^{\circ}\text{C}$ ，沸点定为  $100^{\circ}\text{C}$ ，其间分为 100 等分，每一等分为  $1^{\circ}\text{C}$ 。华氏温标是将纯水的冰点定为  $32^{\circ}\text{F}$ ，沸点定为  $212^{\circ}\text{F}$ ，其间分为 180 等分，每一等分为  $1^{\circ}\text{F}$ ，可见  $1^{\circ}\text{C}$  与  $1^{\circ}\text{F}$  是不相等的。将摄氏度换算为华氏度的关系式为：

$$F = \frac{9}{5}C + 32 \quad (1-4)$$

在绝对温标下，以冰、水和水汽平衡共存的三相点为此温标的  $273.16\text{K}$ ，水的沸点为  $373.16\text{K}$ 。此温标多用于热力学理论研究。

#### (二) 气温变化的基本方式

实际大气中，气温变化的基本方式有以下两种。

##### 1. 气温的非绝热变化

非绝热变化是指空气块通过与外界的热量交换而产生的温度变化。气块与外界交换热量的方式主要有以下几种。

(1) 辐射。辐射是指物体以电磁波的形式向外放射能量的方式。所有温度不低于绝对零度的物体，都要向周围放出辐射能，同时也吸收周围的辐射能。物体温度越高，辐射能力越强，辐射的波长越短。如物体吸收的辐射能大于其放出的辐射能，温度就要升高，反之则温度降低。

地球一大气系统热量的主要来源是吸收太阳辐射（短波）。当太阳辐射通过大气层时，有 24% 被大气直接吸收，31% 被大气反射和散射到宇宙空间，余下的 45% 到达地表。地面吸收其大部分后，又以反射和辐射（长波）的形式回到大气中，大部分被大气吸收。同时，大气也在不断地放出长波辐射，有一部分又被地表吸收。这种辐射能的交换情况极为复杂，但对大气层而言，对流层热量主要直接来自地面长波辐射，平流层热量主要来自臭氧对太阳紫外线的吸收。因此这两层大气的气温分布有很大差异。总的来说，大气层白天由于太阳辐射而增温，夜间由于向外放出辐射而降温。

(2) 乱流。乱流是空气无规则的小范围涡旋运动，乱流使空气微团产生混合，气块间热量也随之得到交换。摩擦层下层由于地表的摩擦阻碍而产生扰动，以及地表增热不均而引起空气乱流，是乱流活动最强烈的层次，乱流是这一层中热量交换的重要方式之一。

(3) 水相变化。水相变化是指水的状态变化，水通过相变释放热量或吸收热量，引起气温变化。

(4) 传导。传导是依靠分子的热运动，将热量从高温物体直接传递给低温物体的现象。由于空气分子间隙大，通过传导交换的热量很少，仅在贴地层中较为明显。

## 2. 气温的绝热变化

绝热变化是指空气块与外界没有热量交换，仅由于其自身内能增减而引起的温度变化。例如当空气块被压缩时，外界对它做的功转化成内能，空气块温度会升高；反之空气块在膨胀时温度会降低。飞机在飞行中，其机翼前缘空气被压缩而增温，后缘涡流区，空气因膨胀而降温，对现代高速飞机来说是非常明显的。实际大气中，当气块作升降运动时，可近似地看作绝热过程。气块上升时，因外界气压降低而膨胀，对外做功耗去一部分内能，温度降低，气块下降时则相反，温度升高。

气块在升降过程中温度绝热变化的快慢用绝热直减率来表示。绝热直减率表示在绝热过程中，气块上升单位高度时其温度的降低值（或下降单位高度时其温度的升高值）。气块在升降过程中温度的绝热变化过程有两种情况，即伴随水相变化的绝热过程和不伴随水相变化的绝热过程，下面分别讨论。

(1) 干绝热过程。在绝热过程中，如果气块内部没有水相的变化，叫干绝热过程（即干空气或未饱和湿空气的绝热过程）。在干绝热过程中，气块温度的直减率叫干绝热直减率，用  $\gamma_d$  表示。根据实际计算， $\gamma_d = 1^\circ\text{C}/100\text{ m}$ 。（图 1-5）。

(2) 湿绝热过程。在绝热过程中，如果气块内部存在水相变化，叫湿绝热过程。饱和空气块在上升时，内部的水汽会因温度降低而凝结，并放出潜热补偿一部分减少的内能。相反，在下降时，则会有水汽凝结物蒸发而消耗热量，减少一部分内能。因而在湿绝热过程中，气块温度的直减率（称湿绝热直减率，用  $\gamma_m$  表示）比  $\gamma_d$  要小，且随温度和气压而变化，其大小通常在  $0.4 \sim 0.7^\circ\text{C}/100\text{ m}$  之间（表 1-2）。

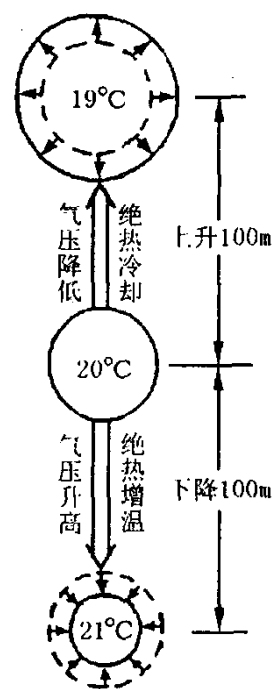


图 1-5 气块作干绝热运动时温度的变化

表 1-2 不同温度、气压下的  $\gamma_m$  值 ( $^\circ\text{C}/100\text{ m}$ )

$\gamma_m$ / $t$ ( $^\circ\text{C}$ )	-20	-10	0	10	20
$P$ (hPa)					
1000	0.86	0.76	0.63	0.54	0.44
700	0.81	0.69	0.56	0.47	0.38
500	0.76	0.62	0.48	0.41	0.33

引起空气温度变化的绝热因素与非绝热因素常常是同时存在的，但因条件不同而有主次之分，当气块作水平运动或静止不动时，非绝热变化是主要的，当气块作垂直运动时，绝热变化是主要的。

### (三) 局地气温的变化

以上的讨论主要是针对某一块空气而言的。而对某一地点的气温（又称局地气温）来说，其变化除了与那里的气块温度的绝热和非绝热变化有关外，还与不同温度气块的移动有关。