

684887

V321/04

风云与飞行

李泓家

HK 19103



C0239524

商务出版社

前 言

从人类开始进行航空活动，气象与航空就结下了不解之缘。各种飞行器翱翔在万里长空，都会受到气象条件的影响。大气是航空活动的舞台，云是空中的“路标”，雷暴则是飞行的敌人，雨、雪、烟雾、积冰、颠簸等也会威胁飞行安全。这些天气现象是怎么产生的？对航空有什么影响？遇到它们应该怎么办？这些都是人们非常关心和颇感兴趣的问题。本书广泛收集了国内外各类航空活动（如飞机的飞行、滑翔、航模、跳伞等航体运动）在大气状态下，受风、云、烟雾、雷、雨、冰雹等气象条件影响的最新资料，并通过具体飞行事例，叙述了如何利用气象条件趋利避害。

本书可供具有中等文化程度的广大航空人员、航空体育运动员和对航空、气象有兴趣的同志阅读，对气象工作者也有参考价值。

在编写过程中，承空军第七研究所原副所长兼总工程师潘寰，空军气象局副局长唐万年，空军气象学院张丙辰教授、赵颂华副教授，训练部原副部长郭伟，一系主任蔡剑平，阮旭春、王正业、黄培强、陈诗力、李佳风、董建成、蔡文康、刘玉良，中国航空学会张汝焱，江苏、安徽省体委尹承伯、程兴和以及江苏民航局同志们的热忱指导和提供文献、资料，谨致谢意。

1985年5月

目 录

前言

一、航空活动的舞台——大气	1
大气与航空息息相关	1
飞机为什么能翱翔天空	5
气温、气压对飞行的影响	8
二、影响航空活动的“力”——大气运动	12
风与飞行	12
扰动气流	17
高空急流	25
低空风切变	32
气流与滑翔、航模运动	41
气流与跳伞	46
三、变幻着的空中路标——云	52
千姿百态的云	52
云的形态特征和云的观测	56
云对飞行的影响和利用	62
观云识天	72
飞机尾迹	74
四、航行的障碍——恶劣能见度	78
大雾茫茫	78
烟霾弥漫	82
沙尘飞扬	85
雷雨暗空	87

飞行能见度·····	89
五、累赘的“银装”——飞机积冰·····	93
飞机积冰的形成·····	94
云中的积冰特点·····	96
飞机积冰的危害和防治·····	100
六、飞行的敌人——雷暴·····	105
雷暴云的结构和气流分布·····	106
雷电强烈·····	110
冰雹袭击·····	113
遇到雷暴的对策·····	115
七、航空的气象保障·····	125
探测风云 保障安全·····	125
预报天气 争取主动·····	132
驱云消雾 开辟航路·····	137

一、航空活动的舞台——大气

包围着地球的空气层，简称为“大气”。正象鸟儿飞翔一样，人类的航空活动只有依靠大气才能够实现。如果没有大气，各类航空活动就无从谈起。所以说，大气是丰富多彩的航空活动的舞台。

大气与航空息息相关

浩渺的长空，以它无穷的魅力，吸引着无数的科学探险者，不畏艰难、前仆后继地去探索它的奥秘。从十八世纪以来，通过登山、施放风筝、乘人气球、无人气球、气象火箭和人造卫星等手段进行大气探测，以及对流星、极光、贝母云和电离现象的观测、研究，人们对大气结构的认识已不断地深化。现在根据大气的物理和化学性质，可将大气分为许多层；其中最主要的是按照大气温度的垂直分布特点，把整个大气分为对流层、平流层、中间层、热成层和散逸层五个层次(见图 1.1)。

大气，特别是低层大气的性质和状态与航空活动是息息相关的。那么各层大气有什么特性？对航空活动影响最大的又是哪些气层呢？

对流层 它是紧挨着地面的一层。它的厚度在低纬度地区约为 17—18 公里，在中纬度地区为 10—12 公里，在高纬度地区约为 8—9 公里。同整个大气层相比，它只是很薄的一个层次，仅是大气层整个厚度的百分之一。但由于地心引力的作用，却使这一层集中了整个大气质量的四分之三和

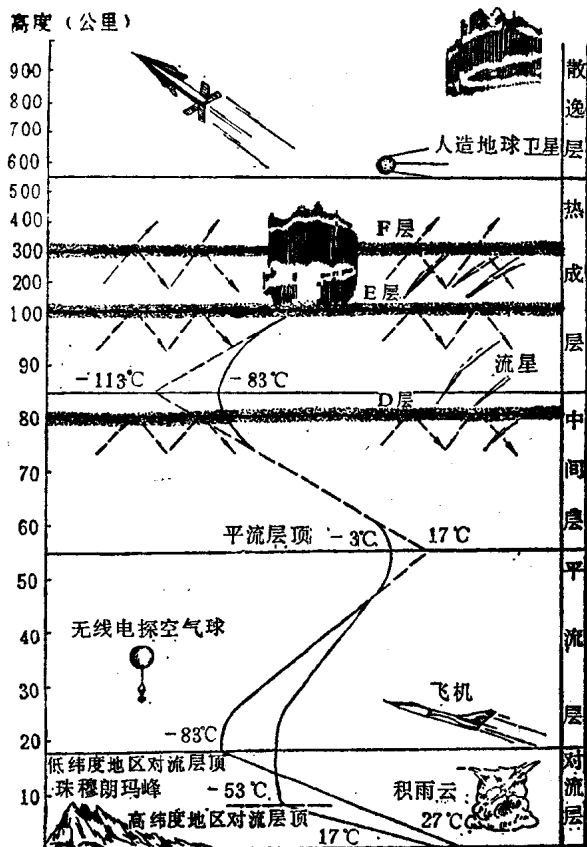


图 1.1 大气的分层

95%的水汽，是天气变化最复杂的层次。飞行中所遇到的雷暴、积冰、风、云、雨、雾等复杂的天气现象，多出现在这一层。无论飞机飞得多高，而起飞、着陆和其他许多飞行活动都离不开对流层。至于滑翔、跳伞和航模等航空活动，都

是在对流层的中、下层进行的。所以直至今今天，航空活动最关心的气层仍然是对流层。

对流层有三个主要特点。一是它的气温随高度增高而降低。高山常年积雪，就是因为高空气温低的缘故。平均说来，每上升100米，气温下降 0.65°C 。二是其中存在着空气的对流运动（即空气既有上升运动，又有下降运动）。暖季，高耸的云峰，就明显地反映出这一特点。对流层的名称，就是由此得来的。对流运动将近地面层的水汽、尘埃杂质等向上输送，这对成云致雨、电闪雷鸣有着重要作用，对大气透明度的变化也有很大影响。三是气温和湿度等气象要素在水平方向上分布不均，北方比南方冷，海洋比内陆潮湿，就是例证。

在对流层中，又可细分为三个层次。从地面到1—2公里高度的气层称为边界层（又叫摩擦层）。这层空气受地面状况（地面的起伏不平、干湿、冷暖等）的影响很大，对流和乱流运动很强，水汽、尘粒含量较多，因而雾和低云在这一层常出现，加上风向、风速变化频繁，这对飞机起飞、着陆有明显的影 响，对滑翔、航模和跳伞运动影响更大。从摩擦层顶到六公里高度，是对流层的中层。这一层受地面影响较小，云和降水现象以及 0°C 等温线的高度大都出现在这层。因此，在这层飞行容易遇到颠簸、积冰、雷电等危险天气。这层的上部气压通常只有地面气压的一半，在那里飞行，必须使用氧气。再往上到对流层顶，是对流层的上层。这里受地面影响更小，水汽含量很少，气温都在 0°C 以下，各种云都由冰晶或低于 0°C 的水滴组成，飞机尾迹多出现在这一层。

对流层与平流层之间还有一个过渡层，叫对流层顶。它

的主要特点是：气温垂直递减率在这里突然变小，甚至成为负值。对流层顶的厚度只有几百米到 1—2 公里，但它对大气的对流运动却有很强的阻挡作用。因此，往往使浓厚的积雨云顶部被迫平展为砧状，使水汽物、尘埃等聚集于对流层顶的下方，能见度常常变坏。

平流层 它位于对流层之上，顶界约在 50—55 公里高度上。平流层的主要特点是：在下部，随着高度的增高，气温几乎保持不变；在中上部（25 公里以上），由于臭氧吸收太阳紫外线的辐射热，气温随高度的增高而显著升高，到 50 公里处升到 -10°C 左右，而到平流层顶可达 0°C 左右。平流层空气稀薄，水汽和尘埃含量少；对流运动微弱，气流平稳，天气晴朗。人们乘机置身于这一气层中，呈现在眼帘中的不再是蔚蓝的天空，而是深蓝色、紫色以至近乎墨色的天幕。这是飞到平流层中最感新奇的现象。在平流层中飞行，由于空气稀薄，飞机阻力小，气温低，发动机效率提高，消耗同样的油料，比在对流层中飞行的距离要远得多。例如，有的飞机，在对流层的 5000 米高度上飞行时，最大航程为 680 公里；而在平流层底部的 14000 米高度上飞行时，最大航程则达 1100 公里。所以，目前大型客机或作远程飞行的飞机，都常常选择在平流层中飞行，以减少燃料消耗量，增大飞行航程，提高空运的经济效益。同时，平流层天气晴朗，没有雷暴、积冰、颠簸等恶劣气象条件，飞行比较安全、舒适。但由于平流层空气稀薄，空气动力减小，飞机对操纵的反应较迟缓，加速和转弯盘旋等性能变差。例如，在对流层中飞行可以翱翔自如，进行扣人心弦的特技表演，可是，在平流层中就很难做到了。随着现代超音速飞机的发展和火箭、卫星的发射，对平流层气象条件的深入研究更日益

为人们所重视。

从平流层顶往上到 85 公里附近这一层，叫做中间层。在这一层中，温度再次下降，到 85 公里处降到 -90°C 左右。从中间层顶到 500 公里处的气层，叫做热成层（又称暖层）。该层温度随高度增高而迅速上升，在 500 公里处，气温高达 1000°C 以上，空气密度非常小。据探测，在 240 公里高度上，空气密度只有海平面上的一千万分之一；而 360 公里处，就只有一万亿分之一了。500 公里以上，就进入了外大气层，称为散逸层。这层空气虽然稀薄到接近真空，却不轻易消失。在无限广阔的宇宙空间，尚未找到大气“到此为止”的明确界线。据人造卫星探测，大概一直延伸到 64000 公里左右的高空，大气才稀薄到具有宇宙空间的密度。上面讲到的中间层、热成层、散逸层，目前，一般飞机还去不了，只有人造卫星、火箭、宇宙飞船和航天飞机可以到达这些地方。

飞机为什么能翱翔天空

飞机能在空中翱翔，有人以为是“风”（相对气流）把飞机托了起来，其实并不那么简单。汽车疾驰时也有“风”，为什么“风”不能把汽车托起来呢？这里有个科学道理。飞机之所以能翱翔天空，它和风筝能飞的道理相似。放风筝时，人拉着风筝往前跑，使风筝在空中与气流的方向构成一个角度。这样，气流吹到风筝上就形成了两个效果的力。即一个使风筝往后，叫阻力；另一个把风筝往上托，叫升力。当风筝绳的拉力大于或等于阻力，而升力又大于或等于风筝的重力（地球对它的吸引力）时，风筝就飞舞起来了。飞机飞行时没有牵引绳，但发动机的拉力（喷气式飞机的动力称

为推力)所起的作用和牵引绳一样。飞机的升力,主要是空气作用于机翼而产生的。当推力大于或等于阻力,升力大于或等于重力时,飞机就能飞到空中去了(如图1.2)。那么,作用于机翼的升力是怎样产生的呢?

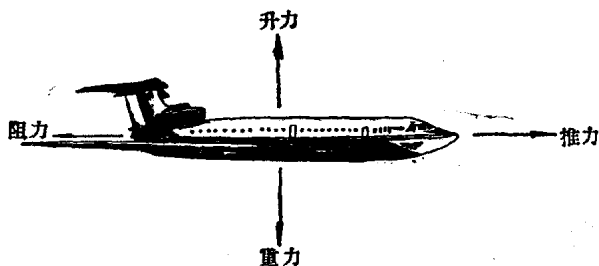


图 1.2 飞机在飞行时所受的力

流体力学中的伯努利定理告诉我们:在空气密度不变时,速度大处压力小,速度小处压力大。这可从一个简单的试验里得到证实:往两张互相平行的纸片中间吹气,纸张不是互相离开,而是互相靠拢。这是因为吹气使两张纸片之间的空气流速增大,相应的压力减小,在外侧较大压力的挤压下,就互相靠拢了。伯努利定理还指出:在同一个管道内,如果通道越窄,空气的流速越快;反之流速越慢。这就象江河的狭窄处,水流得快;宽阔处水流得慢一样。

飞机能飞,关键在于机翼的构型。飞机机翼的横截面形状和鲫鱼侧影很相似(如图1.3),这种形状就是我们经常说的流线形,它的上表面弯度大,气流流过时,因上表面凸出的影响,使气流的通道变窄,流速加快,因而压力降低。机翼下表面比较平直,气流流过时,流速和压力变化不大,这样,在机翼上下表面产生了压力差,上面的气压低于下面的

气压，由这个上下气压差，就形成了升力，使飞机腾空而起。

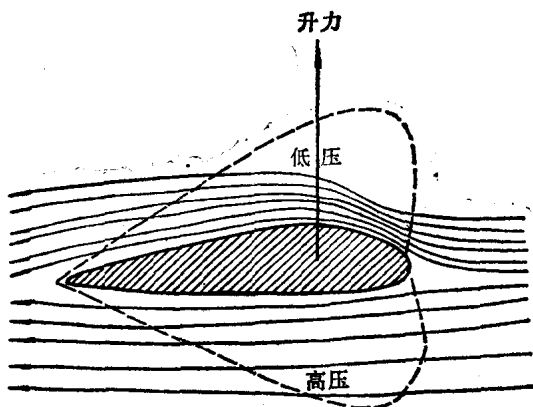


图 1.3 机翼的流线使上表面气压降低

飞机在飞行时不仅受升力作用，同时也要受到阻力影响。飞机阻力按照不同的产生原因有摩擦阻力、压差阻力、波动阻力和诱导阻力四种。飞机依靠发动机的推力(或拉力)在大气中向前运动，既产生升力也产生阻力，它们统称为空气动力。飞机在飞行时增大迎角¹⁾，能使机翼上表面的流线更为弯曲，流速加快，压力降低，因此升力增加。飞机起飞时速度比较小，飞行员要操纵飞机抬起机头，以增大迎角来增加升力，就是这个道理。但迎角增大时，阻力也会增大。所以在一般飞行中，迎角是有一定范围的。如果超过了这个范围，不但不能增加升力，反而会使飞机失速²⁾往下掉。另

1)迎角：飞机运动方向与翼弦所夹的角度，叫做迎角。

2)失速：飞行中，超过失速迎角，升力降低，阻力急剧增大，飞机不能保持正常飞行，这种现象叫做失速。

外，飞行的速度越大，一般说，机翼产生的升力也越大。所以，飞机爬高时，它的速度和迎角总是比较大的。

气温、气压对飞行的影响

飞机在大气中飞行，它的飞行性能（如最大速度、最大航程、上升率、升限¹⁾、起飞着陆的滑跑距离等等），不仅取决于飞机的设计和构造，同时也与大气状态尤其是空气的温度、密度和气压有着密切关系。下面略谈气温、气压对飞行有哪些主要的影响。

气温对飞行的影响 气温的变化可以改变飞机发动机的推力，影响平飞最大速度。气温高时，密度小，空气的压缩性差，使发动机的增压比和进气量变小，发动机推力减小，平飞最大速度也相应地减小了；气温低时，空气密度大，发动机的推力增大，平飞最大速度也会增大。由夏季到冬季，当气温由 30℃ 变到 -30℃ 时，发动机推力可相差 45%。例如，图-144 型超音速飞机在平流层底部飞行，气温变化 25℃ 时，空速²⁾ 变化达 100 公里/小时以上。

在接近升限高度上飞行时，气温升高 10℃，喷气式飞机一般要掉 500 米高度；螺旋桨飞机也会掉 300 米高度。当气温降低，空气密度增大，飞机的升限也随着升高。

气温的高低影响起飞着陆的滑跑距离 气温低时，空气密度大，飞机增速快，升力也增大，所以起飞的滑跑距离要短一些；相反，气温高时，空气密度小，发动机推力或螺旋

1) 升限：飞机上升限度的简称。飞机依靠本身动力上升所能达到的最大飞行高度。

2) 空速：飞机相对于空气的速度。

桨拉力减小，飞机增速慢，升力也减小，因此起飞的滑跑距离要增长。同样道理，气温高时，空气密度小，阻力小，飞机减速慢，着陆的滑跑距离要增长；反之，气温低时，则着陆的滑跑距离缩短。所以同一类型飞机，夏季起飞、着陆的滑跑距离比冬季长。计算表明：一般喷气式客机在发动机转速不变时，气温每升高 10°C ，起飞滑跑距离增加 13%；气温每下降 10°C ，起飞滑跑距离减少 10%。这种变化等于飞机起飞重量变化的 3.5%。也就是说，当气温升高 10°C ，使用涡轮喷气发动机的现代运输机的载重量大约减少两千公斤。从计算还得知：当实际气温与标准气温偏差 10°C ，飞机着陆滑跑距离大约变化 3.5%。

气温高低还影响飞机空速表和高度表的指示。飞机上使用的空速表和高度表是根据标准密度和标准气温设计的（纬度 45 度处的海面上，气压 760 毫米，气温 15°C ，空气密度 1.225 克/米^3 时，此密度称为标准密度，此气温称为标准气温）。当实际气温高于标准气温时，飞机在降落过程中的实际下滑速度比空速表指示的速度大，所以进入一段平飞后，需要通过较长距离才能减速接地；反之，实际气温低于标准气温时，飞机就会提早减速接地。这就是飞行员常常感到早晨目测容易偏低，中午目测容易偏高的原因。

飞机的燃料消耗量对民航客机来说是一个重要的经济指标。航空运输的利润率主要是由这个指标决定的。气温升高，燃料消耗量增加；反之，则减少。据计算：如果气温变化 30°C ，每小时燃料消耗量的变化可达 5—6%。

气压对飞行的影响 飞机上的气压式高度表是以高度刻度代替气压刻度的空盒气压表。根据气压随高度增高而降低的规律，可以测出各气压值所对应的高度。这样，只要测出

垂直方向上任意两点的气压值，通过这两点的气压差，就能知道这两点的高度差。气压高度表指示出飞机在空中的高度，就是根据这个原理确定的。例如，飞机降落时，只要知道飞机所在高度上的气压和机场上的场面气压（指距跑道三米高处的气压，简称“场压”），飞机距离跑道的高度就知道了。因此，飞机着陆时，气象台将当时机场的场面气压经塔台指挥员通报飞行员，将飞机高度表的零点高度的气压值拨成场面气压值，这样高度表指示的高度才是飞机距跑道的真正高度，有了它才利于安全着陆。

飞机作航线飞行时，航线高度是指飞机距海平面的高度。因此，只要知道飞机飞行高度上的气压与海平面上的气压（统一规定为 760 毫米水银柱高）的差值，航线的高度也就知道了，所以航线飞行必须把高度表的零点高度的气压值拨成 760 毫米水银柱高，并按此保持规定的航线高度飞行，以避免飞机相撞。

飞机在山区飞行时，飞行人员必须知道气压高度表的读数是以标准大气的气压与高度的关系得出的，而不是飞机距地面的实际高度。因此，要使用根据最靠近的气象台（站）的气压所求得的拨定值，来确定飞行安全高度¹⁾。这样才能防止撞山事故。

高原机场，由于海拔高，气压低，空气密度小，使飞机的上升率减小，在起飞、着陆时，必须加大空速。例如，在海平面上必须滑跑 300 米才能起飞的小型飞机，在海拔高度为 1500 米时，一般需要有两倍的滑跑长度才能升空。在海

1) 飞行安全高度：保证飞机不致与地面障碍物相撞的最低飞行高度。如航线飞行时的安全高度，在山岳地带应当高出航线两侧各 25 公里以内最高标高 600 米。

拔 1000 米高度的机场上喷气式大型客机的起飞滑跑长度比海平面高度的起飞滑跑长度要大 33%。由于高原机场比平原地区机场起飞、着陆的滑跑距离要长得多，所以修建高原机场的跑道要比一般跑道长 2—3 倍。

二、影响航空活动的“力”

——大气运动

大气如同江河的水一样永无休止地运动着，运动形式复杂多样，有水平的运动，有垂直的运动，也有不规则的乱流。而且不同的层次中，运动的状况又常有差异。这些对飞机、滑翔机、航模机的飞行以及跳伞等航空活动都有直接的影响。

风 与 飞 行

通常把空气相对于地球运动的水平分量——即空气的水平运动称为风。风是人们最熟悉的一种大气运动形式。虽然谁也看不见风，但当深山林涛怒吼，海上波涛汹涌，田间麦浪翻滚，旌旗迎风飘扬的时候，人们不仅知道它存在，而且还可辨别它的方向，判断它的大小。风的方向和大小，可用仪器观测，也可以用目力观测。气象上所说的风向是指风的来向，例如风从东南吹向西北，就称为东南风。但航空所用的风向是指风的去向，称航行风，为的是便于领航计算。地面风向通常用十六个方位表示（见图 2.1）。空中风向用度数表示。风速是单位时间内空气运动的水平距离，常用米/秒或公里/小时表示（ $1\text{米/秒}=3.6\text{公里/小时}$ ）。

飞机的飞行，不论是起飞、着陆和巡航，还是计算飞行时间及油料消耗，都必须考虑风的影响。

地面风对起飞、着陆的影响 飞机的起飞和着陆为什么

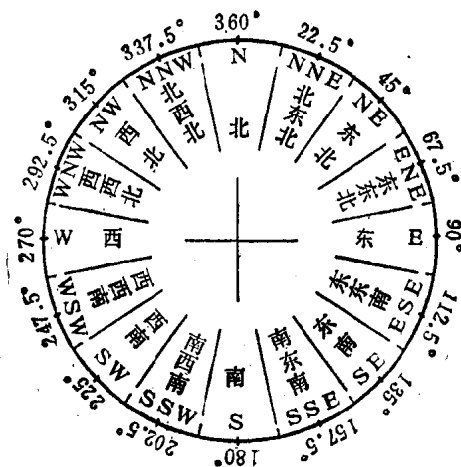


图 2.1 风向的表示法

总是要逆风进行？这是因为逆风可以缩短起飞和着陆时的滑跑距离。我们知道，放风筝时总是要牵引风筝迎风跑一段距离，目的是增大风筝相对于空气的速度，使它得到更大的升力而更快地上升。飞机起飞也有类似的道理。前面已经讲过，飞机之所以能飞，是它受到了空气所给予的升力，而这个升力是与飞机相对于空气的速度（称为空速）的平方成正比的。飞机在起飞前的滑跑，就是为了取得所需要的空速，从而获得足够的升力，才能腾空而起。飞机的空速与飞机相对于地面的速度（称为地速）并不完全一致。无风时，二者是相等的；有风时，情况就不同了。如果是逆风起飞（风向与起飞方向相反），这时，空速等于地速加风速，如果是顺风起飞（风向与起飞方向一致），则是空速等于地速减风速。可