



书名：中国民用航空运输地理（四色）

ISBN：978-7-313-14562-8

作者：许爱莉

出版社：上海交通大学出版社

定价：48.00元

PREFACE

前 言

航空运输与地理环境的研究越来越受到航空界的重视。研究航空运输及地理环境的关系也渐渐形成一门新兴的学科,这其中也包含了研究航空运输的空间分布以及其发展的一定规律。从基础的地理常识开始引导,从研究各种天气变化如何影响飞行,到学习航空港的基本定义及组成,了解中国民用航空资源的分布规律,熟悉中国旅游资源的分布以及其航空港的概况,最后了解世界航空区域的划分。

我国航空业的飞速发展,对航空类服务性人才有着巨大的需求。为适应社会经济发展需要,我国高等院校相继开设了多种形式的航空服务专业,其中还包括众多地面服务,客货运输等相关专业。在专业教学中,民用航空运输地理也渐渐占据越来越重要的地位。本书作为高等院校所使用的专业核心教材,从章节编排,编写内容以及教学形式上都更加符合市场需求,更加注重专业性,实用性。编写此书,也是多年来管理高校航空服务专业学生的感悟,以及在航空公司培训中心工作的经验的总结。本书采用循序渐进的方式,配合我国民用航空资源的最新信息,让学生从原本枯燥的地理专业知识学习中轻松找到乐趣。

本书在编写过程中得到了各位编写老师、航空公司同仁们的热情指导和大力帮助,在此一并致以谢意。

本书涉及面较广,由于个人习惯的差异,书中涉及的某些内容与实际情况可能存在一定的差异,书中存在的缺点、错误,欢迎读者批评指正。

第一篇 基础知识篇

第一章	航空运输地理基础知识	3
第一节	基础地理	3
第二节	大气层分析及对飞行的影响	8
第三节	影响航行的天气	11
第二章	航空运输业与航空港	22
第一节	民用航空分类	22
第二节	机场	26
第三节	飞行区	33
第四节	候机楼区	41
第五节	航路、航线及航班	43
第三章	中国航空运输资源分析	47
第一节	中国航空运输外部资源	47
第二节	中国航空区域划分	53
第三节	中国航空运输内部资源	54
第四节	中国航空运输相关资源	62

第二篇 中国航线篇

第四章	北 京	68
第一节	北京城市简介	68
第二节	北京景点介绍	70
第三节	空港介绍	74
第四节	航空公司及航线介绍	76
第五章	上海、杭州、南京	83
第一节	上海	83
第二节	杭州	88
第三节	南京	91



第六章	广州、深圳、珠海	.....	96
第一节	广州	.....	96
第二节	深圳	.....	100
第三节	珠海	.....	102
第七章	成都、重庆、昆明	.....	106
第一节	成都	.....	106
第二节	重庆	.....	113
第三节	昆明	.....	118
第八章	沈阳、哈尔滨、呼和浩特	.....	123
第一节	沈阳	.....	123
第二节	哈尔滨	.....	126
第三节	呼和浩特	.....	129
第九章	其他(西安、厦门、丽江、拉萨、三亚、乌鲁木齐)	.....	133
第一节	西安	.....	133
第二节	厦门	.....	135
第三节	丽江	.....	137
第四节	拉萨	.....	139
第五节	三亚	.....	141
第六节	乌鲁木齐	.....	143
第十章	港澳台	.....	145
第一节	香港	.....	145
第二节	澳门	.....	158
第三节	台湾	.....	167

第三篇 世界航线篇

第十一章	国际航空概况	.....	176
第一节	世界航空概况	.....	176
第二节	国际航空运输协会简介	.....	179
第三节	世界航空区域划分	.....	182
第四节	世界主要航线及其特点	.....	183
附录		.....	185
参考文献		.....	200

第一篇

基

础

知

识

篇



第一章 航空运输地理基础知识



学习目标

●知识目标

- (1) 了解地球的运动对飞行的影响。
- (2) 了解各层大气的特点。
- (3) 了解各种天气现象对飞行安全的影响。

●能力目标

- (1) 掌握时差和飞行时间的计算方法。
- (2) 了解飞行中常见的不同天气现象对飞行的影响。

航空运输的活动与外部地理环境息息相关。地球自身的运动形成了昼夜更替、四季变换、地方时和时差等与飞行有关的地理现象，从而在飞行活动中出现飞行轨迹偏转、飞行中的昼夜长短变化等现象，并且由地球公转形成的昼夜时长的变化，又决定了航空公司的航班计划安排。同时，在飞行中出现的不同气象现象，更会直接影响到航空运输的安全。

第一节

基础地理

一、地球运动对飞行的影响

1. 地球的自转

(1) 自转规律。自转是地球运动的一种重要的表现形式，地球每时每刻都在由西向东旋转，如果从北极上空鸟瞰地球，自转方向为逆时针，如果从南极



上空鸟瞰地球，自转方向则为顺时针，如图 1-1 所示。

地球自转一周的时间是一个恒星日，周期时长为 23 时 56 分 4 秒。除了地球上南北两极以外，地球上每一点的自转角速度均为 $15^\circ/\text{h}$ ，而地表上任意一点随着自转运动的线速度随着纬度的增加而减小，即自转线速度在两极处最小，在赤道上最大，约为 465m/s 。

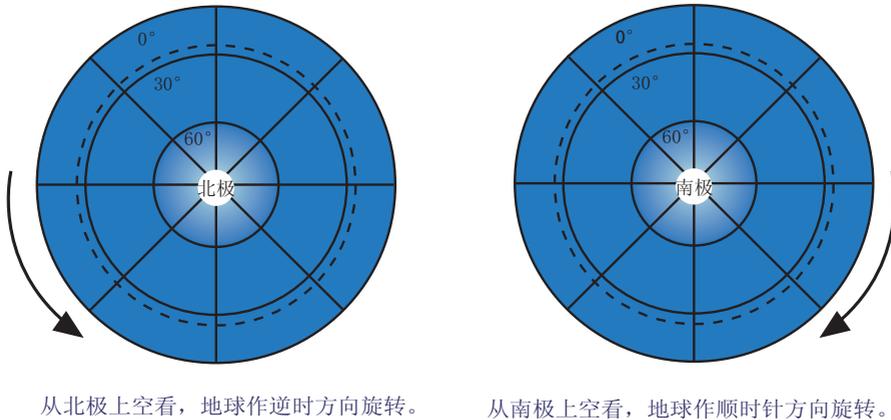


图 1-1 地球的自转方向

(2) 地球自转的影响。地球自转为地球塑造出两极处半径 $6\,356.755\text{km}$ 、赤道处半径 $6\,378.14\text{km}$ 的椭球形状。自转还形成了昼夜更替、地方时差、地转偏向力等一系列重要地理现象。其中有关地方时差的内容将在本节后段讨论。

地球自转形成的地转偏向力也称科氏力，是能够使相对于地球运动的物体偏离原有运动方向的力，但是并不改变物体的速度。地表上空气的运动和河水的流动都会受到地转偏向力的作用。通过观察可以发现，在南半球大河的左岸受到河水冲刷侵蚀现象明显，在北半球则相反；在北半球，灌满水的澡盆在拔掉塞子之后，水流总是能呈现出逆时针方向转动的漩涡。

总结地表上物体运动方向的偏转规律：

- ① 在北半球，偏向运动方向的右侧。
- ② 在南半球，偏向运动方向的左侧。
- ③ 在赤道上，运动方向不发生偏转。
- ④ 随着纬度的增加，运动方向偏转的程度增大。

地转偏向力会使飞机的飞行轨迹发生一定的偏移，特别是对航空运输中的长距离飞行影响较为明显，所以为了让飞机准确的到达目的地，必须克服地转偏向力的影响。

2. 地球的公转

(1) 公转规律。地球和太阳系中其他行星一样，在自转的同时按一定的轨道围绕太阳公转，公转周期为 365 日 6 时 9 分 10 秒。在公转过程中，地球所经



过的封闭曲线，叫作地球轨道。地球轨道是一个接近正圆的椭圆形轨道，太阳位于椭圆的一个焦点上，所以在公转过程中，地球与太阳之间的距离不断地发生变化。地球的自转轴和公转轨道平面存在 $66^{\circ}33'$ 的夹角，地球在公转的同时，有时南半球倾向太阳，有时北半球倾向太阳。太阳的直射点总是在 $23^{\circ}27'N$ 和 $23^{\circ}27'S$ 之间（即南北回归线）做回归运动，形成了地球上的四季更替和昼夜长短的变化，如图 1-2 所示。

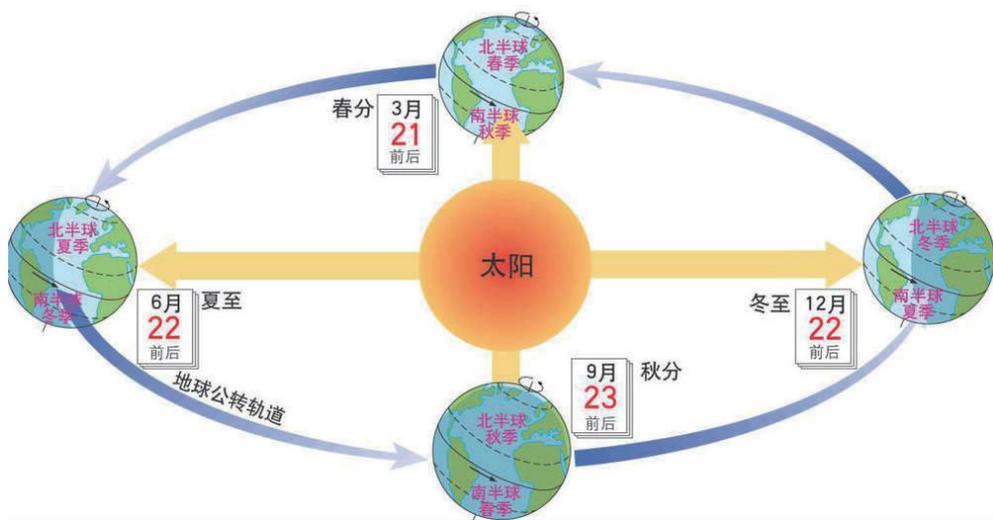


图 1-2 地球公转

(2) 公转影响。地球公转形成了四季更替和昼夜长短变化，我国航空公司航班计划的安排就是以此作为重要的依据。

我国位于北半球，北半球冬半年的白天短于夏半年，为了充分利用白天，冬半年的航班时刻比夏半年提前 1~2 个小时。我国冬春季航班计划的执行时间段为 10 月的最后一个星期日到第二年 3 月的最后一个星期六，夏秋计划的执行时间段为 3 月的最后一个星期日到同年 10 月的最后一个星期六。以 2014 年为例，我国于 2014 年 3 月 30 日至 2014 年 10 月 25 日执行夏秋航班计划，于 2014 年 10 月 26 日至 2015 年 3 月 28 日执行冬春航班计划。

二、飞行昼夜长短的变化

地球的自转运动形成了昼夜交替的现象，白昼与黑夜的分界线——晨昏线的运动方向则是与自转方向相反，是自东向西运动。所以在长距离飞行中，沿着纬线圈向东飞行的飞机与晨昏线相向运动，当飞机以它的飞行速度与晨昏线运动速度（即地球自转速度）之和穿过地表的昼区和夜区时，飞机上的一昼夜就会小于 24h；相反，在长距离飞行中，若飞机沿着纬线圈向西飞行时，飞机与晨昏线则运动方向相同，当飞机以它的飞行速度与晨昏线运动速度之差穿过



地表的昼区和夜区时，飞机上的一昼夜就会大于 24h。所以，在东西方向的国际航线上，形成了飞机上昼夜长短的变化。例如，北京与纽约之间的为期 13 个小时的航班上，若从北京出发向东飞往纽约则会经过一个较短的昼夜，相对的若从纽约出发向西飞往北京，则会经过一个较长的白天。

有关飞行昼夜长短的变化引起的时差效应在后文讨论。

三、时差

1. 时差的产生和相关概念

(1) 地方时和时差。地方时指当地的时间。地球不停地自西向东自转，太阳每天从东方升起、从西方落下，使得东边总比西边先看到太阳，那么东边也比西边先到正午 12 时，这样就造成了不同的经度地方时不同。

如何确定两地间的时差呢？不同经度的两地之间可以通过地球自转的角速度计算时差。前文介绍过地球的自转角速度 $\omega \approx 15^\circ/\text{小时}$ ，两地地方时差，就是地球以 ω 的角速度转过两地经度差所用的时间。若太阳直射东经 90° 经线，则当地地方时为正午 12 时，那么 0° 经线为早上 6 时， 180° 经线则是傍晚 18 时了。所以，若是已知任意两地之间的经度差，就可以相互换算地方时。

设：已知地的地方时为 M_0 ，所求地的地方时为 M ，两地经度差为 $\Delta\lambda$ ，可以求得：

$$M = M_0 \pm \Delta\lambda / \omega$$

式中，当所求地位于已知地东面时，取“+”号；当所求地位于已知地西面时，取“-”号。两地之间的经度差根据经度确定，如都在东经或西经则相减；如一地在东经，另一地在西经则相加。

案例 1-1

已知锦州 ($E121^\circ07'$) 的地方时是 10:30，求拉萨 ($91^\circ07'$) 的地方时。

解：锦州与拉萨两地的经度差为 $\Delta\lambda = 121^\circ07' - 91^\circ07' = 30^\circ$

则两地间的时差为 $\Delta\lambda / \omega = 30^\circ / 15^\circ = 2\text{h}$

那么拉萨的地方时（拉萨在锦州以西，取“-”）

地方时虽然满足了当地人的生活习惯，但是计算起来比较繁琐。如果把一度经线算作一个地方时，全球就会有 360 个地方时，这样会对交通和通讯带来极不利的影 响。为了克服这一不利因素，理论区时的概念应运而生。

(2) 理论区时。1884 年 10 月 13 日，在美国华盛顿召开的国际经度会议上，20 多个国家的代表共同商议，将通过格林尼治天文台子午仪中心的子午线规定为经度的本初子午线，作为计算地理经度的起点和世界“时区”的起点，并将本初子午线上的地方时规定为世界标准时 (GMT)，同时将地球表面划分



成 24 个时区，时区以经线为界，每个时区的范围是经度 15° ，同一时区中的各个地方统一使用该时区中央经线的地方时作为该时区的区时。时区的编号方式是将 0° 经线作为中央经线，东经、西经各 7.5° 范围的时区作为中时区（或零时区）；以中时区为基准，向东每隔 15° 经度分别为东一区至东十二区，向西每隔 15° 经度分别为西一区至西十二区，相邻两理论时区的中央经线相差 15° ，时间相差 1h，两地之间相差的时区数就是两地时区号码的差值，如图 1-3 所示。

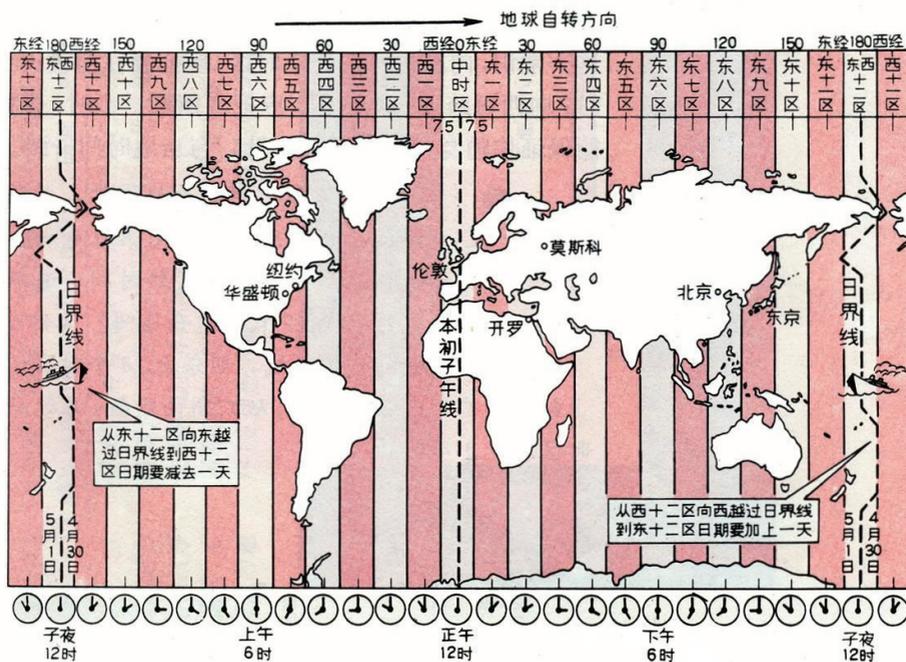


图 1-3 世界时区分布

区时的计算公式如下：

设：已知地区时为 E_0 ，所求地时区为 E ，时区差为 Δn

则有： $E = E_0 \pm \Delta n$ （若所求地在已知地以东，则取“+”号，若所求地在已知地以西，则取“-”号）

案例 1-2

当北京（东八区）为 12 点时，求纽约（西五区）的理论区时。

解： $E = 12 - (8 + 5) = (12 + 24) - (8 + 5) = 23$ ，即纽约的理论区时为前一天的 23:00。此例题中，时区差为 13h；因为纽约在零时区以西，北京在零时区以东，所以用负号，意为纽约比北京晚 13h。若要计算出东京（位于东九区，北京以东）的理论区时，则在北京区时 12 时的基础上，加上 1h 时区差，得到东京理论区时为当天的 13:00，早于北京 1h。

实际上，人们将理论时区的界线依照地表陆地和海洋的分布、国家领土和



行政区划进行了一定的调整，这一界线有时以折线和曲线的形式表现。而这一调整后得到的新的时刻系统就是当地标准时（LST—Local Standard Time），各个国家则采用此系统作为实际的时刻系统。例如英国、法国、荷兰位于零时区，但是均规定采用东一区的区时作为标准时间；马来西亚采用东 7.5 时区作为标准；我国东西跨越五个时区，为了减少转换时间带来的麻烦，只采用北京时间作为全国的标准时。

2. 航空运输中的时差问题

(1) 时差和飞行时间的计算。

案例 1-3

有一航班，自巴黎当地时间 12 月 10 日 10:30 出发，将于蒙特利尔当地时间 12 月 10 日 11:15 到达，请计算航班的飞行时间。

解：查清巴黎和蒙特利尔的地方时和标准时的关系：

巴黎 $LST = GMT + 1$

蒙特利尔 $LST = GMT - 5$

将出发时间和到达时间换算成标准时间：

出发时间 $GMT = 10:30 - 01:00 = 09:30$

到达时间 $GMT = 11:15 + 05:00 = 16:15$

计算航班的飞行时间： $16:15 - 09:30 = 06:45$

即航班的飞行时间为 6 小时 45 分钟。

(2) 时差效应。前文所述，在长距离的飞行中，机组人员和乘客不仅会感受到昼夜长短的变化，也会因为短时间内穿越多个时区而导致的睡眠模式和其他生理功能节律（生物钟）的失调现象，这个现象就是时差效应。时差效应的表现包括脱水、紧张和疲劳、失眠等症状，还会导致新陈代谢和内分泌紊乱，伴有消化不良、感觉不适、失眠和反应迟钝等现象。

第二节

大气层分析及对飞行的影响

一、大气层介绍

1. 大气的组成

我们生活包围在地球表面以外的一层空气当中，这层空气就是大气层，简称大气。大气不仅参与了地球上各种生物活动，同时也将有害的宇宙射线屏蔽



在外，保护了地表生态系统的平衡和地球生命的生生不息。

大气厚度大约为两千多公里，如果将地球看作一个苹果大小，大气层就如同苹果皮的厚度。大气是一种混合物，分别由干洁空气、水汽和尘埃颗粒组成。

氮气和氧气是干洁空气主要组成部分，体积分别占有所有干洁空气的 78% 和 21%，其余的 1% 的体积分别由氩气、二氧化碳、氦气、氖气、甲烷等气体共同构成。地表的江河湖泊的蒸发和植物的蒸腾作用等使水分进入到大气，形成水汽。云的形成和规模就取决于大气中的水汽的含量，而这一含量会随着地点和时间发生变化。在炎热潮湿的夏季时，空气中水汽的含量就要高于同一地点在寒冷干燥的冬季时的水汽含量。尘埃颗粒主要来自于地表，是空气的另一种组成成分，主要包括烟粒和尘粒等。物质燃烧形成烟粒，海水蒸发后盐粒会随之进入空气，土壤微粒被风吹离地表和火山喷发出的火山灰形成了尘粒。

2. 大气的分层

由于气温的变化规律，大气层在垂直方向上分为五层，分别是对流层、平流层、中间层、电离层和散逸层。目前来看，民航客机主要在对流层和平流层底层进行飞行活动，而另外三层大气的高度已超过民用飞机的飞行极限，所以我们主要介绍对流层和平流层两层大气的性质以及对飞行活动的影响。

(1) 对流层。对流层是大气层中最低的一层，底层和地面相连，顶层随着纬度和季节不同而变化。对流层厚度在极地地区最小，仅为 8km；中纬度地区厚度平均达到 11km；赤道地区的对流层厚度最大，为 16km 左右。在相同地区，对流层顶的高度是夏季高于冬季。

由地球表面吸收太阳照射而反射出的长波辐射直接对对流层的底层空气加热，使得靠近地面处空气温度较高，海拔高的地区空气温度较低。一般认为海平面海拔高度为零处，大气压力为 1 013.2hPa，空气温度为 15℃，随着海拔高度升高，空气温度随之减小，对流层中空气温度的垂直递减率为每升高 1 000m 降低 6.5℃，每升高 1 000ft (1ft=0.3048m) 降低 2℃。由于这层空气温度在垂直方向上存在递减，这样就形成了大尺度上的垂直升降运动，即对流运动，对流层由此得名。大量的水汽随着空气的对流运动被抬升至温度较低的高空，形成云、雨、雷、电等多种天气现象，对航空飞行形成安全隐患。由于各地间空气温度、气压的分布不均，造成空气在垂直方向和水平方向出现强烈对流。

对流层中，空气的特点会对飞行带来很多影响。如在高空飞行，空气温度低，容易造成飞机表面积冰；空气水平方向的对流会改变飞机的飞行方向和飞行距离；空气垂直方向的对流会改变飞机的高度，甚至产生颠簸，强烈的颠簸会在一分钟之内造成飞机高度变化十几次，上下颠簸几十米甚至几百米，严重威胁飞行安全。

(2) 平流层。平流层也称同温层，底界即对流层的顶界，其顶界距地球表面



高度约为 50~55km。其中平流层自 11~20km 高度范围内距离地表越来越远，则受热则越来越少。而自 20km 至平流层顶层，这一部分大气中含有大量的臭氧，可以吸收太阳紫外线从而为大气加热。两部分各自的温度特性使得平流层下半部分 11~20km 范围内的空气温度常年保持在 -56.5℃。

在平流层大气中，几乎不存在水汽，从而没有雾、雪、雨、云、电等天气状况，天空清澈蔚蓝。空气只存在水平流动，同时垂直流动很弱，是非常适合飞机飞行的空间。然而在平流层中空气密度很小，稀薄的空气使飞机的操纵性和稳定性降低。综合考虑平流层对飞行的影响，在平流层底层的大气中飞行最为适合。

二、飞行高度层介绍

飞行高度层以标准大气水平面为基准，按特定的高度差划分高度层，把航空器按照各自的性能、飞行任务的性质、飞行区域、航线地形和天气等因素配备在不同的高度层上，使航空器之间保持安全的飞行高度空间，能有效地维护空中交通秩序，防止空中飞机相撞，增大空中交通流量。

在 2007 年实施的《中华人民共和国飞行基本规则》中规定了飞行高度层

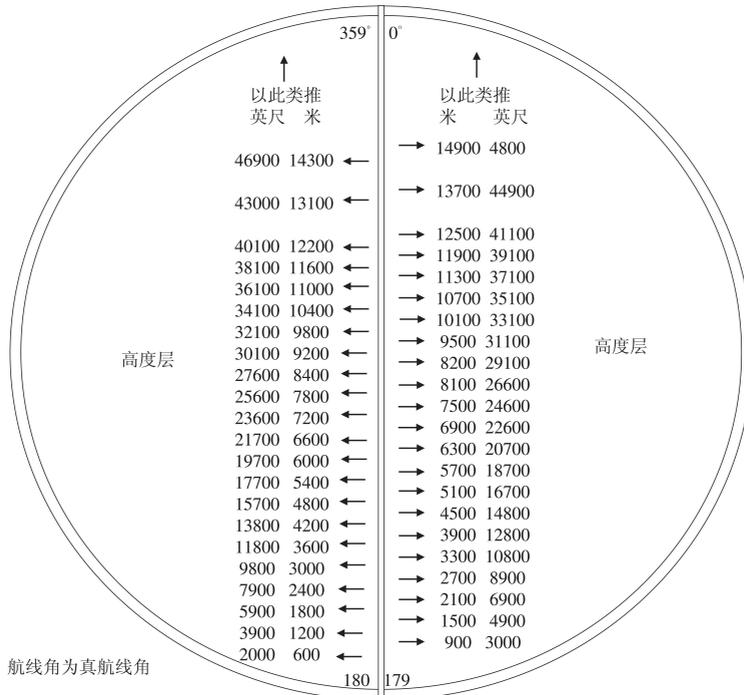


图 1-4 飞行高度层配备标准

(见图 1-4)。其中，真航线角在 0°~179° 范围内，飞行高度在 900~8 100m 内的，每隔 600m 一个高度层；飞行高度在 8 900~12 500m 内的，每隔 600m 一



个高度层；高度在12 500m 以上的，每隔 1 200m 一个高度层。另外，真航线角在 $180^{\circ}\sim 359^{\circ}$ 范围内，飞行高度在 600~8 400m 内的，每隔 600m 一个高度层；飞行高度在 9 200~12 200m 内的，每隔 600m 一个高度层；飞行高度在 13 100m 以上的，每隔 1 200m 一个高度层。

第三节

影响航行的天气

一、能见度

1. 能见度的概念

能见度与航空飞行任务的关系非常密切，决定了航空器能否飞行、是简单飞行气象条件还是复杂飞行气象条件。在航空领域，能见度被定义为：视力正常的人在昼间能够看清目标物轮廓的最大距离，在夜间能看清灯光发光点的最大距离。在能见度良好的情况下，飞行人员能够轻易地观察地标、障碍物、其他飞行物和灯光等目标物，同时分辨它们的种类，判断出它们的位置；而低能见度严重危害了飞行安全，也是造成航班延误的重要天气。造成能见度恶劣的气象条件有很多种，例如雾、低云、烟幕、霾、吹雪等。

能见度在航空上的应用包括：地面能见度、空中能见度和跑道视程。

(1) 地面能见度。地面能见度又叫作气象能见度，指昼间靠近地平线的天空为背景的、视角大于 $20'$ 的地面灰暗目标物的能见度。单位为千米或米，是确定飞行气象条件和机场能否开放的重要指标之一。

在观测地面能见度时，一般是测量出在观测点周围的各个方向选定不同距离的符合标准的目标物的距离，其中能够被看清轮廓的最远目标的距离就是能见度距离。但是，观测点周围各个方向的能见度受到大气透明度差异影响较大，为了反映这样的差异，又将地面能见度分为三种：

- ①有效能见度，是水平视野范围内一半以上的区域所具备的最大能见度；
- ②最小能见度，是各个方向的观测结果中，能见度最小的能见度；
- ③跑道能见度，是沿着跑道方向观测的地面能见度，在能见度接近机场最低天气标准时，应观测跑道能见度。

(2) 空中能见度。空中能见度是在航空飞行活动中，从空中观测目标时的能见度，包括在空中水平能见度、空中垂直能见度和空中倾斜能见度。随着观测目标和背景、大气透明度的不断变化，空中能见度观测较为困难。所以一般



只对空中能见度大致估计其好坏。

(3) 跑道视程。跑道视程是飞行员在位于跑道中线的飞机上观测起飞方向或着陆方向，能看到跑道面上的标志或能看到跑道边灯火中线灯的最大距离。跑道视程可以通过跑道边的自动化设备来测量，一般只要测出大气透明度的数据，便可以通过一定的关系式计算出跑道视程。

2. 影响能见度的天气现象

(1) 低云。云是自然界中常见的天气现象，由悬浮在空气中的大量水滴和冰晶组成，底部不接触地面。云有着千变万化的形态，由于形成原因不同，云的特征也有所不同，对飞行的影响也不尽相同。按照云底高度分类，云被分为三族：低云、中云、高云，其中低云种类繁多，对能见度的影响最大。

云底高在 2 500m 以下的云称为低云，包括：淡积云、浓积云、积雨云、碎积云、碎雨云。尤其是云底高度在 500m 以下的云，生成和移动速度较快，短时间内可以笼罩整个机场上空，迅速降低机场能见度，使飞机的起飞、着陆及低空、超低空飞行变得极为困难，严重威胁飞行安全。

(2) 降水。降水指液态或固态水从云中降落到地面的现象，按颗粒形态可分为液态降水和固态降水。

降雨能减少能见度，并且随着降雨强度增大，能见度变得越来越差（见表 1-1），在大雨、暴雨、大暴雨等强降水中飞行，空中能见度甚至能减少到只有几十米。降水时的空中能见度还受到飞行速度的影响，飞行速度越大，在单位时间内与飞机碰撞的雨水体积越大，能见度因此恶化，同时雨水打在驾驶舱玻璃上形成水膜使光线发生折射，让能见度进一步降低。

表 1-1 降水强度及其对能见度的影响

	小雨	中雨	大雨	小雪	中雪	大雪
降水强度/（毫米/日）	<10	10~25	25~50	<2.5	2.5~5	5~10
能见度/km	>10	10~4	<4	>1	1~0.5	<0.5

由于降雪使地面上所有物体之间的亮度和色彩的对比减弱，所以降雪对能见度的影响比降雨更大。

(3) 雾。雾是悬浮在近地面上空的水滴或者冰晶，使地面能见度小于 1 000m 的现象叫做雾。雾滴的大小和浓度决定了雾中的能见度。雾滴越小，雾的浓度就越大，能见度差。雾是由于近地面的空气温度降低或水蒸气含量达到饱和，水汽凝结或凝华而形成的。雾的厚度一般为几十米到几百米，有时可达 1 000m 以上。雾有多种类型，根据形成方式的不同分为辐射雾、平流雾、上坡雾、蒸发雾等。其中非常常见并对飞行安全影响较大的类型为辐射雾和平流雾。

① 辐射雾。辐射雾是由地表辐射冷却而形成，是一种能够引起低能见度的重要天气现象，对飞机的起降带来很大影响。辐射雾形成时需要以下几种条件：



晴朗无云或少云的夜空； $1\sim 3\text{m/s}$ 的微风；近地面湿度高。这样的条件下，地表辐射冷却快，使得近地面空气温度降低很多而水汽又不易扩散，空气中的水汽很快达到饱和从而形成辐射雾。

在我国秋冬季的夜间，特别是下半夜到清晨，是辐射雾的多发时期，尤其是在日出前后雾的浓度最大。在日出后，随着空气温度逐渐升高或者风速逐渐加大，雾便会逐渐消散。一般在潮湿的谷地、洼地和盆地地区也是辐射雾多发的地区，例如我国的四川盆地经常被辐射雾笼罩，尤其是重庆市，年平均雾日达 150 多天。但辐射雾影响范围较小，并且越靠近地表，雾的浓度越大。往往在雾区上空飞行可见机场跑道，但在下滑进近的过程中，能见度就会变得非常恶劣。

②平流雾。平流雾是由于温暖潮湿的空气运动到温度较低的海面或者陆面时，暖湿空气的底层迅速冷却降温使水汽达到饱和凝结而形成的雾。在我国冬季，沿海地区海面上的温暖潮湿的空气流经冷的陆地上空就会形成平流雾。南方温暖海面上的暖湿空气流经北方的冷的海面上，也是平流雾产生的一种方式。平流雾的形成需要以下几种条件：风以 $2\sim 7\text{m/s}$ 的速度从暖湿空气区吹向冷的海面或者陆面；暖湿空气的温度与海面或者陆面的温度差异较大；暖湿空气的相对湿度较高。

平流雾有以下几种特点：年变化明显，春夏季节多、秋冬季节少，同时日变化不明显，只要条件适合，一天当中任何时间都可能出现；雾的生成和消散都很迅速，只要是风从暖海面吹向冷陆面，雾就会很快形成，迅速笼罩机场区域，一旦风向发生转变，雾就会很快消散；平流雾较辐射雾来说影响范围更广、厚度更大，水平方向可以影响到数百千米范围，厚度最大可以达到 2km 。

(4) 影响能见度的其他固体杂质。其他影响到能见度的因素还包括悬浮在空气中的固体杂质，包括烟幕、霾、风沙、浮尘和吹雪等。

①烟幕。工业区和城市居民区等区域排放的大量烟粒聚集在空中，使水平能见度处于 5km 以下的现象，称为烟幕。烟幕多出现在冬季的早晨，经常与辐射雾混合形成烟雾，而在白天比较少见。许多靠近城市的机场在早晨都会出现这样的情形，如果风从城市方向吹来，在比较稳定的空气层中就会很快形成烟幕，使能见度迅速降低，给飞机起降带来影响。

②霾。大量微小的固体杂质（包括尘埃、烟粒等）浮游在空中，使水平能见度低于 $5\ 000\text{m}$ 的现象，叫作霾。霾多发生在比较稳定的空气层中，并且是冬季经常出现的天气现象。飞行中遇到霾，四周经常朦胧一片，远处的目标好像蒙上一层淡蓝色的纱罩；在霾层上空飞行，气流比较平稳，水平能见度不会受到影响；但是在霾层迎着太阳飞行时，太阳光被霾层顶部反射，十分刺眼，不利于观察前方目标，有时还会对飞行员造成视觉错觉，将远方的霾顶误认为



是天地线。

③风沙。强风卷起的沙尘造成能见度小于 5 000m 的现象称为风沙。其中能见度小于 1 000m 的，称为沙（尘）暴；水平能见度不超过 5 000m 的，称为扬沙。

风沙常出现在春季的西北、华北地区。风沙肆虐时，天空昏黄，漫天黄沙将阳光遮蔽，能见度很差。在风沙区飞行，能见度恶劣，而且沙粒被吸入发动机还会造成机件磨损、油路堵塞等现象，后果十分严重。沙粒对电磁波的衰减作用和沙粒和飞机表面摩擦产生的静电效应，都会影响正常通信。

④浮尘。细小的尘粒浮游在空中，使水平能见度不超过 5 000m 的现象，叫作浮尘，常与风沙同时出现。浮尘对飞行造成的影响与霾相似，主要影响空中能见度。在浮尘中飞行，远处目标、日月呈淡黄色。

⑤吹雪。强风将地面积雪卷入空中，使水平能见度不超过 5 000m 的现象叫作吹雪。吹雪高度低于 2m 为低吹雪，高于 2m 为高吹雪。降雪的同时伴有吹雪的现象则为雪暴。吹雪多在冬季出现在我国北方，尤其是东北地区最常见。形成吹雪现象时，除了地面有大风之外，地面的积雪必须是干松的。吹雪中的能见度恶劣，雪暴甚至可以使能见度降低到不足百米，对所有目视航空活动都有很大影响。

二、低空风切变

1. 低空风切变的概念

风切变在相同高度或不同高度短距离内风向和（或）风速的变化。在高度 500m 以下，发生的风向风速的变化称为低空风切变。风切变可以发生在任何高度，而严重威胁飞行安全的则是低空风切变。低空风切变对飞机的起飞和着陆的影响极为恶劣。

2. 低空风切变的种类

(1) 顺风切变。是指飞机从逆风区域进入到顺风区域，或从大逆风区域进入到小逆风区域，或从小顺风区域进入到大顺风区域。顺风切变能够减小飞机与空气的相对速度，减小飞机升力，高度降低。因此，顺风切变对于起飞和降落阶段的危害较大。（见图 1-5）。

(2) 逆风切变。是指飞机从顺风区域进入到逆风区域，或从小逆风区域进入到大逆风区域，或从大顺风区域进入到小顺风区域。逆风切变能够增加飞机与空气的相对速度，使飞机升力增加，获得高度，对飞机的影响相对较小，如图 1-6 所示。

(3) 侧风切变。是指飞机从一种侧风或无侧风状态，进入到另一种明显不

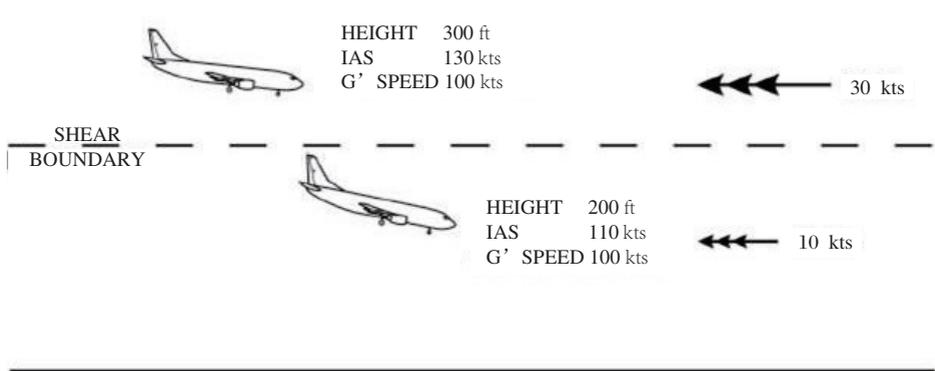


图 1-5 顺风切变的形式

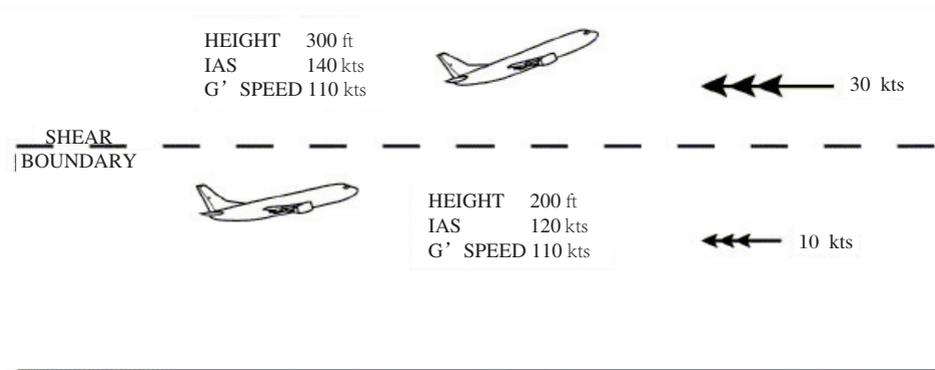


图 1-6 逆风切变的形式

同的侧风状态。侧风切变分为左侧风切变和右侧风切变，能够使飞机发生侧滑、滚转和偏航等现象。

(4) 垂直风切变。是指飞机从无明显的升降气流区域进入到强烈的升降气流区域。其中伴随雷暴或微下击暴流等强对流天气生成的强烈的下降气流，有很强的突发性，使飞机高度迅速降低，严重威胁飞行安全。

3. 低空风切变对起飞上升和着陆下降的影响

(1) 飞机着陆下降遇到顺风切变（见图 1-7）。飞机在下降过程中遇到顺风切变，即在下降过程中逆风转变为顺风。在顺风切变中，飞机与空气的相对速度突然减小，升力随之减小，飞机高度降低，低于正常下滑线。如果飞机高度足够，飞行员可以通过增加迎角和加油门增速的方式使飞机上升，重新回到正常下滑线上；如果发生顺风切变的高度较低，飞行员加大油门使飞机增速，会导致飞机着陆速度过大，着陆滑跑距离过长，有冲出跑道的危险；如果风切变相对跑道的高度更低，在逆风消失时升力显著下降，会导致飞机在未跑到头就已触地，造成严重事故。

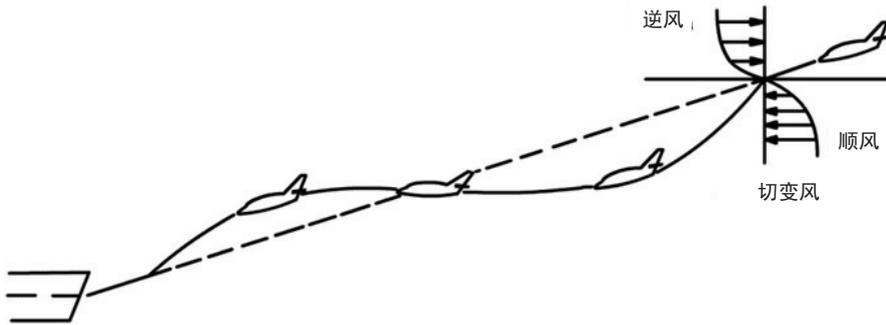


图 1-7 顺风切变对着陆性能的影响

(2) 飞机着陆下降时遇到逆风切变(见图 1-8)。飞机在下降过程中遇到逆风切变,即在下降过程中顺风转变为逆风。在逆风切变中,飞机与空气的相对速度突然增加,导致升力加大,飞机获得高度,使得飞机高于正常下滑线。如果此时不做修正,会导致飞机在正常接地点以后着陆,使得剩余的跑道距离减小,飞机有冲出跑道的危险。所以在遇到逆风切变时,飞行员通常收小油门并减小迎角,使得飞机降低高度,待飞机重新回到正常下滑线时,再增加迎角并补些油门。由于逆风切变增加飞行高度,所以与顺风切变相比,危害相对较小。

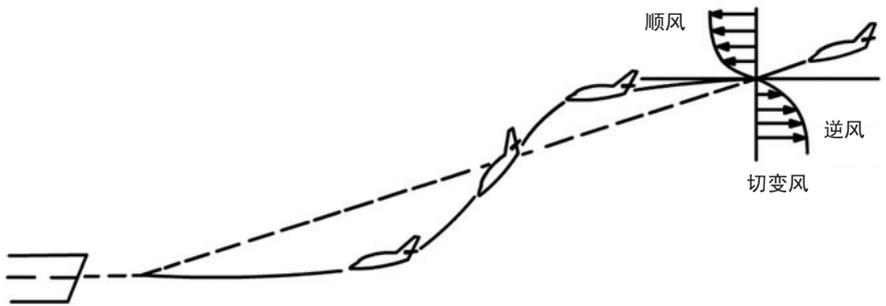


图 1-8 逆风切变对着陆性能的影响

(3) 飞机在着陆下降中遇到侧风切变。着陆过程中遇到侧风切变,飞机会在侧风作用下产生侧滑,进而机头向迎风方向偏转、机身向顺风方向产生坡度,从而飞机偏离预定着陆方向。如果侧风切变发生的高度较低,飞行员来不及修正,飞机会带有坡度和偏流接地,影响地面滑跑方向。侧风切变的影响相对较小。

(4) 飞机在着陆过程中遇到下冲气流。下冲气流通常会出现在雷暴云体下面,强度很大,曾经测得的雷暴下冲气流强度最高达 41m/s。

飞机在雷暴云体以下进近着陆时,通常会遇到强烈的下冲气流的威胁,同时出现其他形式的风切变,如图 1-9 所示。若飞机处在下冲气流中心,强烈的气流会使飞机迎角减小、升力下降,飞机高度因此迅速减小。若要保持飞机正



常的下滑高度，只有加大油门令飞机增速，加大飞机升力。如果飞机的上升率大于下冲气流的速度，飞机就能够上升到安全高度，保证飞行安全；如果飞机的上升率小于下冲气流的速度，下冲气流仍继续迫使飞机高度降低。倘若飞机不能及时冲出下冲气流，就有撞地坠毁的危险。

以上讨论的是飞机着陆进近过程受到几种低空风切变的影响，低空风切变对飞机起飞过程的影响与之类似，读者可以自行分析。

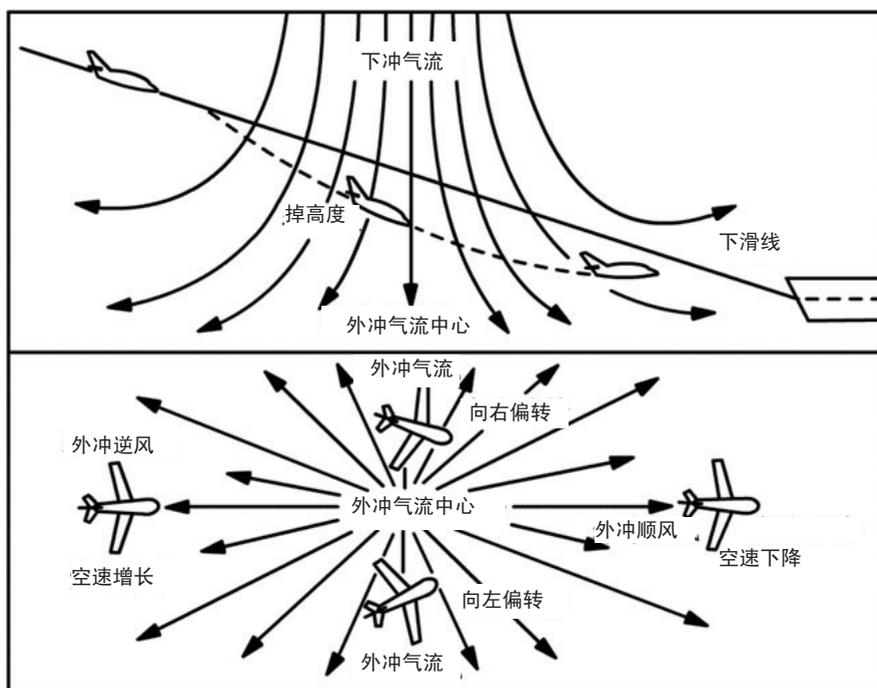


图 1-9 下冲气流对着陆下降的影响

三、雷暴

1. 雷暴的产生

雷暴是由对流旺盛的积雨云引起的，并伴有闪电雷鸣的局地风暴。雷暴发生时，除了电闪雷鸣的现象之外，还有强烈的积冰、大风、湍流和阵雨，甚至伴有下击暴流、龙卷和冰雹出现，是严重威胁航空运输安全的危险天气。全球每天约有 44 000 个雷暴发生，而在任意时刻都有 2 000~4 000 个雷暴在活动。雷暴是伴随着强烈发展的积雨云产生的，深厚而不稳定的气层、充沛的水汽和足够的冲击力是形成强烈积雨云乃至雷暴的几个必要条件。在我国，夏季是雷暴发生频次最高的季节，春秋季节次之，我国冬季极少出现雷暴。而在一天当中，雷暴在午后到傍晚这一时段内出现最多。

2. 雷暴对飞行的影响

(1) 颠簸。在雷暴云中穿云飞行，飞机会遇到强烈的湍流而引起严重的



飞机颠簸。气流在雷暴云中升降速度很大，最大时能达到 60m/s，并且有很强的突发性、分布不均，伴有强烈的风切变。强烈的湍流所引起的颠簸会导致飞机失去控制、仪表失灵，飞行高度在几秒钟内变化几十米甚至几百米，严重时导致飞机结构受损、发动机停车。

(2) 积冰。在雷暴云积云发展阶段，云中水滴过冷，极易造成飞行在雷暴云中的飞机机体表面出现较强积冰。如果在一个雷暴云单体中穿云飞行，由于穿云时间较短，即便发生积冰也不会产生严重后果。但是，如果在飞机积冰条件下穿越一个雷暴群，飞机则会产生威胁飞行安全的严重积冰。

飞机积冰后对飞行安全的影响将在后文详细介绍。

(3) 雹击。在雷暴云中飞行时遇到冰雹，飞机部件如座舱玻璃、机翼、水平安定面、发动机进气道口和雷达罩等，常会因为相对速度很大被冰雹击伤。在飞行过程中，大量的冰雹和过冷雨水还会被发动机吸入，导致发动机内部过冷或压缩机被冰雹打坏而出现发动机停车的情况，造成飞机动力不足或完全丧失动力，诱发飞机失速而坠毁。

(4) 雷电。电击对飞行的危害可以分为：强大闪电电流直接击中飞机机体会引起局部温度迅速升高，造成机翼、雷达罩、尾翼等机身部位烧损，强大电流进入机体内部导致电源或其他用电设备烧坏；雷电引起的瞬间电场间接影响飞机仪表、通讯和导航设备、着陆进近系统等收到干扰或中断。若雷电击中飞机油箱，可能会引起燃烧或爆炸，导致致命后果。

四、气流颠簸

1. 颠簸的形成

飞机在飞行当中遇到扰动气流，就会产生震颤、上下抛掷、左右摇晃，造成飞机不易操控、仪表不准等现象，这就是飞机颠簸。飞机的颠簸是由于在飞行过程中由那些与飞机尺度相当的、随机出现的那部分涡旋造成的，涡旋的直径基本为 15~150m，这种涡旋就是“飞机乱流”。在对流层的底层空气受热不均、空气流过粗糙不平的地表或障碍物、较强风切变和前机尾流都是引起“飞机乱流”的诱因。一个又一个大小不一、运动方向随机的涡流对经过乱流区的飞机的飞行状态产生干扰，飞机的运动就会随之发生不规则的变化，于是产生颠簸。

2. 颠簸对飞行的影响

(1) 颠簸会使飞机的速度、姿态等飞行状态发生不规则变化，破坏飞机平衡，影响稳定性，使飞机操纵困难，甚至失去控制。机上某些仪表会随着颠簸加大误差、甚至指示失常，使飞行员失去对飞机姿态等参数的判断。

(2) 强颠簸会使飞机所受外载超过其限制载荷，损伤飞机部件，严重时折



断机翼、造成飞机解体，从而酿成严重事故。在高空飞行空气稀薄，强颠簸还会使发动机进气量减少而造成发动机停车。

(3) 颠簸会造成飞行人员、机组成员和乘客的紧张并加剧疲劳。严重颠簸可以使飞机高度在几秒钟内突然变化几十米甚至几百米，威胁到飞行安全。

五、飞机积冰

1. 飞机上冰层的形成原理

飞机机身表面某些部位聚集冰层的现象就是飞机积冰。大气中经常存在着 0°C 以下仍未冻结的过冷水滴，这种过冷水滴经常出现在 $0\sim-20^{\circ}\text{C}$ 的云和降水中。飞机积冰可以由云中或降水中的过冷水滴碰到飞机机体后冻结在机身表面而形成，也可能是由于水汽在飞机机体表面直接凝华而成。飞机积冰多发生在飞机外突出的迎风部位，例如机翼、尾翼、发动机进气道前缘、空速管、螺旋桨叶、风挡、天线等。

2. 飞机积冰对飞机的影响

(1) 飞机空气动力性能被破坏。飞机积冰使飞机重量增加，改变重心的位置和原有的最优化的气动外形，使得飞机原有的空气动力性能和稳定性被减弱，起飞滑跑距离增长。出现在机翼和尾翼上的冰层会使升力减小、阻力增加，临界迎角减小，失速的风险加大。如果积冰出现在副翼、方向舵和升降舵的前缘，会导致舵面偏转受到积冰的卡阻，影响到飞机的操纵性。

(2) 动力装置性能被降低。螺旋桨桨叶积冰，使得螺旋桨拉力减小，损失飞机前进的动力。从桨叶上脱落的冰块还会打坏发动机和机身。发动机进气口或内部的汽化器积冰会减少发动机的进气量，损失飞机的动力，甚至会造成发动机停车。被吸入到发动机内部的冰块还会撞击发动机内部结构，造成发动机故障。

(3) 仪表和通讯功能被削弱。飞机天线积冰，影响无线电的接收和发射，甚至是通讯中断。风挡积冰影响目视航行安全，尤其是在进近着陆时威胁极大。若暴露在机身外部的空速管和静压孔积冰，会影响空速表和高度表等的正常工作。2009年6月1日发生的法国航空AF447航班空难就是因为飞机在飞行中空速管积冰，导致飞机未能侦测到空速，自动驾驶仪断开后，飞行员错误操作导致失速，最后酿成空难。

六、高空急流

1. 高空急流的形成

高空急流是指位于对流层上层或平流层中强而窄的强风带。急流区的风速不小于 30m/s 。在地球中纬度地区上空经常出现的西风急流，就是一种高空急



流，它是由于中纬度地区上空经常出现水平气温梯度大的狭长区域，气温由低纬度向高纬度地区逐渐降低，导致西风风速随着高度升高而迅速增加而形成的。急流一般长几千千米，宽度为几百千米，厚度为几千米。急流中心风速有的可以达到 $50\sim 80\text{m/s}$ 。世界上强度最大的急流是位于我国东部和日本西南部上空的副热带急流，冬季最大风速可以达到 $100\sim 150\text{m/s}$ ，最大可达 200m/s 。

2. 高空急流飞行的影响

在飞行高度和方向允许的情况下，顺急流飞行将会增大地速、节省燃料，缩短航行时间；逆急流飞行效果则相反；横穿急流飞行，会产生很大的偏流，对领航计算和保持航向都有很大的影响。在横穿急流飞行时，进、出急流都会遇到很大的风切变，同时急流内外气温变化剧烈，导致横穿高空急流伴随颠簸发生。

七、山地气流

气流遇到孤立山峰或短的山脊时，其中一部分气流会从山的两侧绕过，另一部分气流从山顶越过，这样造成的升降气流一般不强。如果气流遇到高大山脉的阻挡，大部分气流将被山脉抬升，被迫从山顶越过，造成了强烈的升降运动，山地迎风一侧为上升气流，背风一侧为下降气流。山地气流的升降运动也受到热力作用的驱动。在白天，太阳照射山顶、山坡地区，使得该地区气温升高、空气上升；山谷地区温度低于山坡，空气下降。在夜间空气流动方向则相反。

另外，气流越山时，在山顶处气流速度大，在背风坡处气流速度小，从而在垂直方向上存在较大的风速变化，这样就会在山顶和背风坡上空形成乱流。

飞机在迎风坡飞行受到上升气流的抬升作用而增加高度，在背风坡飞行则受到下降气流的作用而降低高度，同时还可能被下降气流带入背风坡的乱流当中，影响飞行安全。所以，在山地飞行要将飞机保持在安全高度以上。



本章小结

本章简要介绍了地球自转、公转的相关知识，重点介绍了昼夜长短变化、时差、大气分层和多种影响航行的天气。

本章重点：时差及航班飞行时间的计算；适合民航航空器运行的大气空间；各类影响航行的天气现象。

本章难点：时差计算；航班飞行时间的计算。

**思考与练习**

- (1) 某航班于 11:30 从北京起飞, 于 16:30 到达巴黎, 求飞行时间。
- (2) 当 165°E 处的地方时为 14:00 时, 30°W 处的地方时是多少?
- (3) 分析低空风切变对飞机起飞着陆性能的影响。