

气象学教程

第三分册

中国人民解放军总司令部

一九五四年十月 北京

第二分册目录

第四篇 特殊天气现象

第二十章 扰动气流与飞机颠簸	367
第一节 扰动气流	367
第二节 飞机颠簸	372
第三节 颠簸区中的飞行	378
第二十一章 飞机积冰	383
第一节 飞机积冰的形成和种类	383
第二节 飞机积冰的强度	385
第三节 各种云中的积冰特点	390
第四节 积冰对飞行的影响	391
第五节 怎样防止和处置积冰	396
第二十二章 雷 暴	398
第一节 雷暴的形成和发展	398
第二节 雷暴的近地面天气特征	403
第三节 雷暴的种类	405
第四节 雷暴的活动	410
第五节 雷暴与飞行	413
第六节 龙 卷	419
第二十三章 视程障碍现象	423
第一节 雾	423
第二节 烟幕和霾	427
第三节 风沙、浮尘和吹雪	431
第二十四章 飞机尾迹	435
第一节 飞机尾迹的形成	435
第二节 飞机尾迹层	439
第三节 飞机尾迹的利用及避免	443

第五篇 高空、平流层和特殊地区的气象特点

第二十五章 高空和平流层的气象特点	445
第一节 高空及平流层的气温、气压和风的分布特点	445
第二节 对流层顶	454
第三节 高空急流	457
第二十六章 海上的气象特点	467
第一节 海洋的一般知识	467
第二节 海上的气象特点	478
第二十七章 山地和高原山区的气象特点	486
第一节 山地的气象特点	486
第二节 高原山区的气象特点	498

第六篇 气象条件对空军战斗活动的影响

第二十八章 气象条件对航空兵战斗行动的影响	503
第一节 气象条件对集合、编队、飞向目标和进入目标、解散降落的影响	503
第二节 气象条件对截击敌机的影响	508
第三节 气象条件对准确轰炸的影响	512
第四节 气象条件对射击地面目标的影响	517
第五节 气象条件对照相侦察的影响	519
第六节 气象条件对空降的影响	521
第七节 气象条件对飞机使用和维修的影响	524
第八节 气象条件对机场修建、使用和维修的影响	527
第二十九章 气象条件对高炮射击、雷达探测和通信联络的影响	534
第一节 气象条件对高炮射击的影响	534
第二节 气象条件对雷达探测的影响	540
第三节 气象条件对通信联络的影响	546
第三十章 气象条件对核武器、化学和生物武器杀伤、破坏作用的影响	552
第一节 气象条件对核武器杀伤、破坏作用的影响	552
第二节 气象条件对化学和生物武器杀伤作用的影响	556

第七篇 空军气象勤务

第三十一章	空军气象勤务的组织	561
第一节	空军气象勤务的任务与要求	561
第二节	空军气象勤务的各项工作的组织	563
第三十二章	天气探测	569
第一节	飞机侦察天气	569
第二节	雷达探测天气	582
第三十三章	天气分析	593
第一节	概 述	593
第二节	地面天气图的分析	595
第三节	等压面图的分析	600
第四节	辅助图的分析	603
第三十四章	天气预报	611
第一节	怎样作好天气预报	611
第二节	短时、短期天气预报	612
第三节	中期、长期天气预报	624
第四节	缺乏资料情况下的天气预报	632
第五节	航空天气预报的内容、用语和发布	637
第三十五章	气候资料的整理	643
第一节	常用的气候指标和气候图	643
第二节	主要气候要素资料的整理	648
第三节	气候志和专题气候报告	653
第三十六章	气象保障	656
第一节	航空兵气象保障	656
第二节	高射炮兵气象保障	660
第三节	怎样正确使用气象资料	661
附 录		665
附录十	载荷因数变量公式的推导	665
附录十一	防冰装置的工作原理	666
附录十二	地球绕月、地共同惯性中心旋转而产生的惯性离心力	667

技术符号代号表

表陸家戶舉至：蘇計張

- 590

技术名称

522

1001	解脫西來變境戶軍空	章一十三第
1002	本聖色發身前發體境戶軍空	章一第
1003	總歸曲曲工即各四後體境戶軍空	章二第
1004	解脫戶天	章二十三第
1005	戶天發境戶天	章一第
1006	戶天開境戶天	章二第
1007	境戶天	章三十三第
1008	境戶天	章一第
1009	境戶天	章二第
1010	境戶天	章三第
1011	境戶天	章四第
1012	境戶天	章四十三第
1013	境戶天	章一第
1014	境戶天	章二第
1015	境戶天	章三第
1016	境戶天	章四第
1017	境戶天	章五第
1018	境戶天	章五十三第
1019	境戶天	章一第
1020	境戶天	章二第
1021	境戶天	章三第
1022	境戶天	章六十三第
1023	境戶天	章一第
1024	境戶天	章二第
1025	境戶天	章三第
1026	境戶天	章一第
1027	境戶天	章二第
1028	境戶天	章三第
1029	境戶天	章一第
1030	境戶天	章二第
1031	境戶天	章三第
1032	境戶天	章一第
1033	境戶天	章二第
1034	境戶天	章三第
1035	境戶天	章一第
1036	境戶天	章二第
1037	境戶天	章三第
1038	境戶天	章一第
1039	境戶天	章二第
1040	境戶天	章三第
1041	境戶天	章一第
1042	境戶天	章二第
1043	境戶天	章三第
1044	境戶天	章一第
1045	境戶天	章二第
1046	境戶天	章三第
1047	境戶天	章一第
1048	境戶天	章二第
1049	境戶天	章三第
1050	境戶天	章一第
1051	境戶天	章二第
1052	境戶天	章三第
1053	境戶天	章一第
1054	境戶天	章二第
1055	境戶天	章三第
1056	境戶天	章一第
1057	境戶天	章二第
1058	境戶天	章三第
1059	境戶天	章一第
1060	境戶天	章二第
1061	境戶天	章三第
1062	境戶天	章一第
1063	境戶天	章二第
1064	境戶天	章三第
1065	境戶天	章一第
1066	境戶天	章二第
1067	境戶天	章三第
1068	境戶天	章一第
1069	境戶天	章二第
1070	境戶天	章三第
1071	境戶天	章一第
1072	境戶天	章二第
1073	境戶天	章三第
1074	境戶天	章一第
1075	境戶天	章二第
1076	境戶天	章三第
1077	境戶天	章一第
1078	境戶天	章二第
1079	境戶天	章三第
1080	境戶天	章一第
1081	境戶天	章二第
1082	境戶天	章三第
1083	境戶天	章一第
1084	境戶天	章二第
1085	境戶天	章三第
1086	境戶天	章一第
1087	境戶天	章二第
1088	境戶天	章三第
1089	境戶天	章一第
1090	境戶天	章二第
1091	境戶天	章三第
1092	境戶天	章一第
1093	境戶天	章二第
1094	境戶天	章三第
1095	境戶天	章一第
1096	境戶天	章二第
1097	境戶天	章三第
1098	境戶天	章一第
1099	境戶天	章二第
1100	境戶天	章三第

第四篇

特殊天气现象

雷暴、结冰、扰动气流、视程障碍等特殊天气现象与飞行有密切的关系。它们不仅常常妨碍遂行飞行任务，有时甚至可能危及飞行安全。

特殊天气现象影响飞行的严重程度，不仅取决于这些现象本身的强弱，而且同飞行中处置是否正确有关。如果处置得当，就可减轻影响；反之，则会加重影响。为此，本篇除了着重阐述这些现象的形成原理和发展条件外，还简要介绍一些有关判断特殊天气现象和飞行中的正确处置方法。

第二十章 扰动气流与飞机颠簸

车行凹凸不平的道上或船遇风浪，都会上下颠簸、左右摇晃。相类似，飞机在扰动气流中飞行，也会产生颠簸、摇晃、摆头以及局部抖动等现象，这就是所谓的飞机颠簸。

颠簸增加了操纵上的困难，使飞行员易于疲劳；影响到空中射击和投弹的命中率；严重时，甚至还会使飞机结构因承受过大的应力而损坏。

毛主席说：“我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”^① 颠簸归根到底是由扰动气流引起的。因此，我们也要从分析客观存在的扰动气流入手，了解其发生发展以及分布的规律，从而得出减轻或避免颠簸影响的方法来。

第一节 扰动气流

远望炊烟，似乎是很有规则地朝着一个方向飘去的，但若走近细看，则会发现它的运动是比较复杂的。总的看来，它是朝着一个方向运动的，但其中包含着局部的升降和涡旋运动。这表明空气的运动是很不规则的。空气的这种不规则运动，称为乱流。

^① 《星星之火，可以燎原》。《毛泽东选集》第1卷，人民出版社1952年第2版，第103页。

大气中，乱流虽然是经常存在的，但是，能够引起飞机颠簸的，通常只是与飞机大小相仿的那部分乱流，航空上往往将这部分乱流称为扰动气流，或飞机乱流。

有的气流虽然不“乱”，但在其中飞行也会产生颠簸。例如，在升降有规则的波状气流中飞行，就是如此。不过，对于形成颠簸来说，这种气流一般是比较次要的，因而本章不着重讨论它们。

一、扰动气流的形成

大气中的扰动气流是怎样形成的呢？归结起来，不外乎动力的和热力的两种原因。由动力原因形成的扰动气流，称为动力扰动气流；由热力原因形成的扰动气流，称为热力扰动气流。

(一) 动力扰动气流

一阵风吹来，平静的水面就会泛起水波，这是人们早已熟悉了的现像。“风乍起，吹皱一池春水”，就生动地描绘了这一景象。这种现象表明了：当空气与水面存在相对运动时，在它们的交界面上会产生波动。由于水面比较平滑，所引起的空气波动较小，因而人们常常只看到水的波动，而不容易察觉到空气的波动。在粗糙不平的陆地上，特别是在山区和高大障碍物附近，情况就比较明显了。由于摩擦阻碍作用较大，空气中经常会出现较大的波动和涡旋，这种波动和涡旋，虽然用肉眼仍然不能直接看到，但落叶打转，纸屑盘旋飞舞等现象，却证实了它们的存在。风愈大，地面愈粗糙，障碍物愈高，空气中的波动和涡旋（即扰动气流）也就愈强。下面我们用图 20-1 来说明各种地面条件下的扰动气流情况：

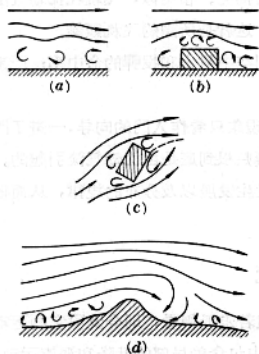


图 20-1 障碍物附近形成涡旋的示意图

——气流经过平地时（如图 20-1a），形成小的涡旋。

——气流越过较小的障碍物时（如图 20-1b），迎风面上形成位置少变的涡旋；背风面也不断形成涡旋并随风而流；障碍物上方有若干不规则的、移动的小涡旋，这些小涡旋主要是由障碍物向风的一角上连续形成的。

——气流绕过较大的障碍物时（如图 20-1c），在障碍物的四周形成绕垂直轴的涡旋（该图是俯视图）。

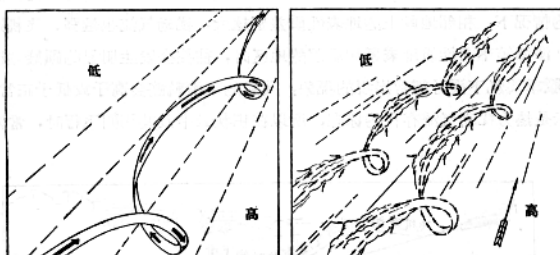
——气流越山时所形成的扰动气流情况大致如图 20-1d 所示。迎风坡上，有涡旋和上升气流；背风坡上，涡旋发展较强，同时还会出现较强烈的下降气流。

一般来说，单纯由地面动力影响引起的扰动气流所及高度，在平原地区只有 1000—1500

米；在山区，扰动气流波及的垂直范围就要大得多；在某些山区，有时甚至可伸展到对流层顶或平流层的下部。

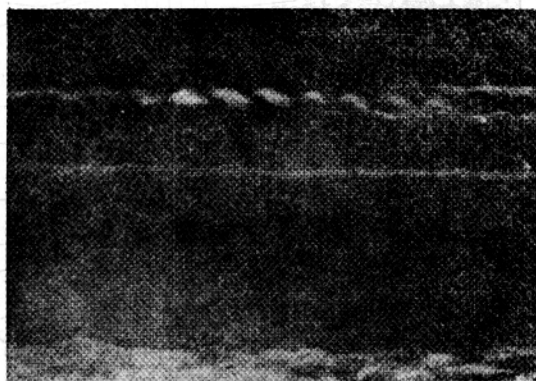
除了由地面摩擦阻碍作用引起的动力扰动气流外，如果相邻(上下或左右)气层间具有相对运动，在其交界处也会有扰动气流形成。而且，相对速度越大，扰动气流也越强。由于气层间相对速度的大小可用风的向量差(即风切变)来度量，因而根据风在空间的分布情况，可以推断出扰动气流可能存在的区域及其强度。

大气中，逆温层上下的风速差异是比较显著的，特别是在锋面逆温附近，那里经常会出



(a) 螺旋状涡旋的示意图

(b) 在螺旋状涡旋中形成云的示意图



(c) 螺旋状卷云

图 20-2 急流区中的螺旋状卷云及其结构

现扰动气流。逆温层附近的层积云、高积云往往就是扰动气流存在的标志。在高空急流区附近，不论是水平方向上或者是垂直方向上，风切变通常都是很大的，经常也会出现较强的扰动气流。图 20-2 就是由急流区中扰动气流造成的一种卷云，这种云带有明显的涡旋特征。

(二) 热力扰动气流

热力扰动气流是由于气温水平分布不均匀而引起的。我们知道，不同性质的地表面，虽然受到同样的太阳辐射，但增温程度是不同的，因而近地面层空气的温度分布也是不均匀的，有的暖一些，有的冷一些；暖的空气上升，冷的空气下降，结果就会形成热力扰动气流。

热力扰动气流既是由于地表性质不同所引起的气温分布不均匀而造成的，显然，在其他条件相同的情况下，相邻地段上的地表性质差别越大，扰动气流也越强。飞机通过农田、河流、森林、沙滩等不同性质地表紧相毗邻的地区时，往往会发生明显的颠簸，就是这个道理。图 20-3 是暖季飞机下滑时经常出现的现象：飞机的下滑轨迹会高于或低于正常的下滑轨迹。

积状云是热力扰动气流存在的标志，所以在积状云中及其周围飞行时，常常会发生较明

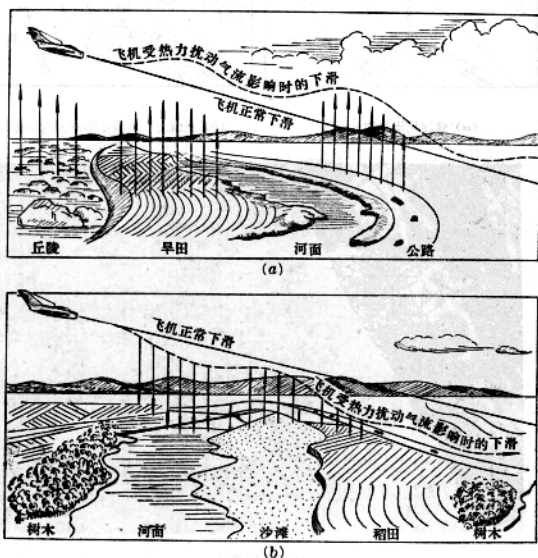


图 20-3 热力扰动气流影响飞机下滑的示意图

显的颠簸。但在积状云上面飞行时，却是很平稳的，因为那里经常存在着逆温层，阻碍了积状云和扰动气流的发展。

热力扰动气流的强度和所及高度一般都有明显的日变化。日出前，扰动气流通常是很弱的；日出后，逐渐增强，所及高度逐渐升高；到了午后，达到最强最高；随后又逐渐减弱降低。飞机在起飞、着陆以及选择航线高度时，应考虑到热力扰动气流的日变化。

此外，有时在飞机所飞过的气层中，由于飞机尾流的影响，也会出现局部的扰动气流。飞机在起飞、着陆、编队飞行以及从半球实施攻击时，都应注意这一点。

上面我们分别讨论了扰动气流的基本成因，事实上，这些原因往往是混杂在一起、同时起作用的。因而，在判断大气中扰动气流的发展情况时，必须综合考虑动力的和热力的两种作用。

二、扰动气流的发展

前面已经提到，本章所讨论的扰动气流，主要是指乱流。这里着重阐述自由大气中乱流发展的条件。

就象海上的波浪一样，大气中的乱流发生后，有时因为缺少适宜的发展条件，慢慢就会平息下去；有时却因得到良好的条件，而迅速发展起来。乱流能否得到发展，主要取决于风的垂直切变和大气稳定度两个因子。

手搓竹蜻蜓，因两手施力方向不同，竹蜻蜓就会受力矩作用而飞旋起来。施力大，力矩也大，竹蜻蜓就旋转得更快。同样，当存在风的垂直切变或水平切变时，由于力矩作用，也会使空气转动起来，形成绕水平轴的涡旋或绕垂直轴的涡旋；而且切变越大，施于空气的力矩也越大，涡旋转动也就越快，这就是说，乱流运动越强。通常，风的垂直切变比水平切变大得多，所以在分析乱流发展的条件时，主要考虑风的垂直切变的作用。

大气稳定度对乱流运动的作用是明显的：大气不稳定时，无论是上升气流或是下降气流都会加强；相反，大气稳定时，则会减弱。也就是说，大气越不稳定，乱流越易发展。

综上所述，如以 $\frac{\Delta V}{\Delta Z}$ 表示垂直风切变的大小， $\gamma_d - \gamma$ 表示气温的干绝热直减率和实际气温直减率之差（也就是大气稳定度情况）， T 表示空气层的平均温度， g 表示重力加速度，则可得判别乱流发展的表达式^①：

$$R_i = \frac{g}{T} \frac{\gamma_d - \gamma}{\left(\frac{\Delta V}{\Delta Z} \right)^2} \quad (20-1)$$

式中 R_i 称为里恰逊^②数。

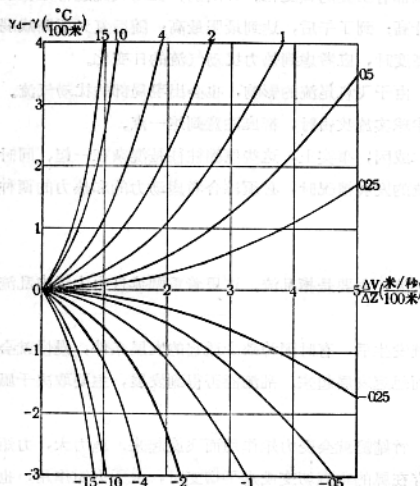
① 这个公式也可用来判断云中的乱流发展情况，但需把气温的干绝热直减率 γ_d 换成湿绝热直减率 γ_m 。

② 里恰逊(L. F. Richardson)

由上式可見, R_i 值越小时, 乱流发展越强烈。一般來說, 由于乱流强时颠簸也强, 所以里恰逊数不仅可用于判別乱流的发展, 也可用来判別颠簸的强度。例如, 据苏联在平原地区的

飞行經驗: 当 $4 > R_i > 0.5$ 时, 一般飞机有輕微颠簸; 当 $R_i < 0.5$ 时, 有中等或强烈的颠簸。因此, 在实际工作中, 如果能及时测得气温和風的空間分布情况, 就可以大致估計出飞行高度上可能发生的颠簸强度。

在日常工作中, 为了简化計算里恰逊数的手續, 可以从里恰逊数的查算图解(见图 20-4)中, 直接讀取在当时气温和風的垂直分布条件下某个气层的里恰逊数近似值。例如, 假定某气层的温度直减率为 $0.5^\circ\text{C}/100\text{米}$, 即 $\gamma_d - \gamma = 0.5^\circ\text{C}/100\text{米}$, 風速垂直切变为每 100 米相差 $3\text{米}/\text{秒}$ (垂直方向上的風向变化不大), 则从图解上查算出的里恰逊数近似值为 0.2。如果按照上述的經驗数据来判断, 飞机在这一气层中飞行将会产生較强的颠簸。



制定图解的条件:

$$g = 9.8 \text{ 米}/\text{秒}^2;$$

$$T = 273^\circ\text{K}.$$

图 20-4 里恰逊数查算图解

第二节 飞机颠簸

上一节介绍了造成飞机颠簸的客观因素——大气中扰动气流的形成和发展。这一节, 将进一步闡明飞机颠簸是怎样形成的, 以及颠簸为什么会有时强、有时弱等問題。

一、颠簸的形成

正如恩格斯所指出, “一个运动是另一个运动的原因”^①; 飞机所以产生颠簸运动, 其原因也就在于扰动气流中时大时小的垂直气流或水平气流对飞机的冲击, 使升力发生不规则变化的緣故。

① 恩格斯: 《自然辯證法》, 人民出版社 1955 年第 1 版, 第 191 頁。

下面先来看扰动气流中的垂直气流是怎样引起颠簸的。

如图 20-5，当飞机平飞中突然遇到速度为 W 的上升气流时，由于相对气流的方向由原来的 CE 改变为 CD ，飞机的迎角也由原来的 α 增大为 $\alpha + \Delta\alpha$ 。由飞行原理可知，此刻，飞机的升力即增大，飞机将自行上升；与此相反，当飞机平飞中突然遇到下降气流时，由于迎角减小，飞机将自行下降。扰动气流中升降气流起伏无定，速度也多变，所以，飞机在扰动气流中飞行时，就会因升力不断急剧变化而呈现忽升忽降的颠簸状态。同时，如果作用在左右机翼上的气流的方向或强弱不一致时，飞机还将产生摇晃现象。此外，当垂直气流冲击飞机的时间短促且频繁时，还能引起飞机局部部位的抖动现象。

时大时小的水平气流又是怎样引起飞机颠簸的呢？这是因为飞机遇到这种气流时，相对气流的速度便会时大时小，因而升力也不断地发生不规则的改变，于是也造成了飞机的颠簸。如果气流是从正面（或背面）来的，一般只引起飞机上下颠簸；如果气流是从侧面来的，则还可能引起飞机摇晃、摆头等现象。

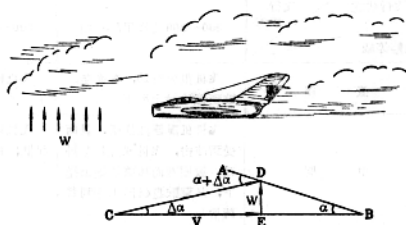


图 20-5 遇到上升气流时飞机迎角的变化

虽然水平气流与垂直气流都能引起飞机升力的不规则变化，而造成颠簸，然而两者的作用在程度上是不一样的：在水平方向上，由于风速变化通常要比飞机的速度小得多，对升力的影响较小；垂直气流因能使迎角发生较大的变化，对升力的影响就大多了。例如，当某型飞机以空速 120米/秒 、迎角 2.2° 平飞时，如果迎面风速突增 10米/秒 ，飞机升力将突增 17% ；但如突然遇到 10米/秒 的上升气流，则由于迎角的改变，升力将突增两倍有余。因此，在一般情况下，风速变化对飞机颠簸的作用可以忽略。但如飞机正在起飞、着陆或正在急流区中飞行，则因在前一种情况下飞机的速度较小，在后一种情况下风速变化往往很大，所以都不可忽视它的影响。

还须指出：飞机颠簸固然主要是由扰动气流中的升降气流所引起的，但在具有升降气流的大气中飞行却不一定都会发生颠簸。根据研究，只有当升降气流的水平范围与飞机的大小相近时（对于现代飞机来说，约为 $10-200\text{米}$ ），才容易引起飞机升力的变化，造成颠簸。如果升降气流的范围很大，比如说，气旋中的上升气流或反气旋中的下降气流，那末，飞机只会安稳地上升或安稳地下降，而不会出现颠簸。如果飞机遇到的是许多范围很小的升降气流，那末，由于同时撞在飞机上的升降气流的作用能够互相抵消，也不会引起颠簸。

二、颠簸的强度

(一) 颠簸强度的区分

飞机颠簸的强度，既可按飞行状态的变动程度来区分，也可按飞机所承受的载荷因数的变化量(Δn)来区分。

根据飞行状态的变动程度，颠簸强度一般可划分为微弱、中度和强烈三个等级。如表 20-1 就是有关材料中介绍的一种等级划分，它是根据喷气式飞机 960 次颠簸报告的资料制定的，可供飞行中判断颠簸强度时参考。

表 20-1 飞机颠簸强度的等级

飞行状态 飞行速度 颠簸等级	300—500 [公里/小时]	500—600 [公里/小时]	600—800 [公里/小时]
微弱	飞机很少抖动，有摇摆，被轻轻地抛上抛下	飞机稍有抖动，被抛上抛下	飞机抖动，常常被上下抛掷
中度	飞机机翼剧烈摇摆，翼面受到冲击，飞机强烈地抖动，被剧烈而频繁地抛上抛下，从驾驶盘(杆)上感到载荷增加	飞机抖动，被频繁地上下抛掷，机翼摇摆	飞机强烈地抖动，被频繁而强烈地上下抛掷，机翼摇摆
强烈	飞机被猛烈而频繁地抛上抛下，随着飞行高度的变化，机翼受到猛烈冲击，使机翼摇摆，驾驶盘(杆)从飞行员手中脱落	飞机被强烈地、频繁地和急剧地上下抛掷，飞行高度变化很大	飞机非常强烈地抖动，被频繁而剧烈地抛上抛下，飞行高度变化很大

虽然颠簸时的飞行状态有着种种变化，但是多数飞行员主要是依据垂直方向上的颠簸的激烈程度来估计颠簸强度的，因此，颠簸强度也可以依据垂直方向上飞机承受的载荷变化来区分。

下面我们来说明一下载荷因数变量为什么能反映颠簸强度的问题。

航空部门，通常以飞机的升力(Y)与飞机重力(G)之比，来表示飞机在飞行中所承受的载荷，称为载荷因数(n)，即

$$n = \frac{Y}{G} \quad (20-2)$$

当飞机平飞时，升力等于重力，载荷因数等于 1；如果升力不等于重力，即载荷因数大于或小于 1，则飞机有向上或向下的运动。

前面已经讲过，飞机颠簸是由于扰动气流使飞机升力改变而引起的，因而在飞机发生颠簸时，载荷因数是变化的。如以 ΔY 表示升力的变化，则载荷因数变量可用下式表示：

$$\Delta n = \frac{\Delta Y}{G} \quad (20-3)$$

飞行中,重力 G 一般可以看成是不变的,因而载荷因数变量的大小完全取决于升力的变化。显然,载荷因数变量大时,也就是升力变化大的时刻,颠簸也一定比较强(假定没有人操纵的影响);反之,则颠簸较弱。因此,载荷因数变量的大小也就可以作为区分颠簸强度的依据。

如果用 a 来表示由升力变化引起的飞机垂直加速度,则载荷因数变量公式可写为

$$\Delta n = \frac{ma}{G} = \frac{ma}{mg} = \frac{a}{g} \quad (20-4)$$

式中 m ——飞机质量;

g ——重力加速度。

此式表明,载荷因数变量就是飞机垂直加速度与重力加速度之比,通常用重力加速度的倍数来表示。例如 $\Delta n=2$,就是说飞机垂直加速度等于重力加速度的两倍。

依据颠簸时载荷因数变量的大小,颠簸强度通常也可分为微弱($|\Delta n|=0.05-0.2$)、中度($|\Delta n|=0.2-0.5$)、强烈($|\Delta n|>0.5$)等三级。

载荷因数变量的值,可以从飞机加速表上直接读取。

(二) 影响颠簸强度的因子

由飞行经验可知:通过不同的扰动气流区,会有不同强度的颠簸;通过同一扰动气流区,由于飞行速度、飞机类型的不同,颠簸强度也不尽相同。这就是说,颠簸强度不单取决于外界的气流条件,而且还与飞行速度、飞机翼载荷等条件有关。表 20-1 中列出三个速度范围就是这个缘故。下面我们分别讨论影响颠簸强度的各项因子。

1. 扰动气流的强度

扰动气流的强弱主要决定于两个因子:垂直阵性气流^①的速度和空气密度。垂直阵性气流的速度越大,空气密度越大,它所引起的飞机升力的变化越大,颠簸越强;反之,它所引起的飞机升力的变化越小,颠簸越弱。

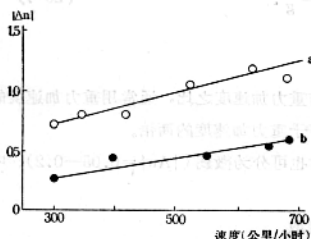
这里还应当指出:有时即使扰动气流的强度相同,但如作用在飞机上的升降气流交替周期与机体振动的周期一致时,飞机的抖动也会显著加剧,这就是所谓的共振现象。在波状气流中,升降气流的交替往往是比较有节奏的,所以在波状气流中飞行要特别注意防止出现共振现象。

2. 飞行速度

车行在不平的道上,车速越快颠簸越厉害。飞行中遇到扰动气流时的情况也与此相似。飞行速度越大,飞机受到气流的冲击作用就越厉害,升力的变化就越大,因而载荷因数变量

① 这里所指的垂直阵性气流,即是前面提到的飞机在扰动气流中飞行时所遇到的时大时小的垂直气流。

增大,飞机颠簸强度增强。图 20-6 是某型飞机遇扰动气流时平飞速度与载荷因数变量之间的关系。从图上可以清楚地看出载荷因数变量随平飞速度增大而加大的情况。此外,飞行速度越大,飞机在单位时间里受到扰动气流冲击的次数就越多,颠簸也越频繁。比如说,当飞行速度为 500 公里/小时,飞机每秒钟会受到 1 次冲击;那末,当飞行速度为 1000 公里/小时,飞机每秒钟就会受到 2 次冲击。图 20-7 是某型飞机遇扰动气流时平飞速度与载荷因数变量符号的变化频率之间的关系(也即是平飞速度与飞机在单位时间内受升降气流交替冲击次数之间的关系)。它证实了上述结论。



a. 遇强烈扰动气流时得出的 b. 遇中等强度扰动气流时得出的
图 20-6 平飞速度与载荷因数变量值的关系

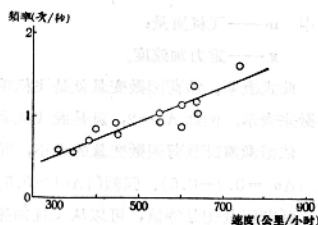


图 20-7 平飞速度与载荷因数变量符号的变化频率的关系

但是,飞行速度增大时,飞机受到每一支上升或下降气流作用的时间就缩短,相对地说来,颠簸的幅度也就小一些。因此,高速飞机遇颠簸时,常常感到的是“抖动”或“振荡”,而飞行高度的变化则较少。

3. 飞机的翼载荷

经验表明,在扰动气流强度、飞行速度都相同的情况下,只要飞机的翼载荷不同,颠簸强度还是不同的。翼载荷大的飞机,由于机翼单位面积上所承受的重量大,受到气流冲击后产生的加速度较小,所以颠簸较弱;反之,翼载荷小的飞机,颠簸就较强。例如,以依尔-14 和依尔-18 两种飞机(翼载荷约相差一倍)在同一时间,用同样速度,穿越同一个扰动气流区,结果,翼载荷较大的依尔-18 飞机,其颠簸强度就较翼载荷小的依尔-14 飞机来得小(依尔-18 的 $|\Delta n| = 0.2$, 依尔-14 的 $|\Delta n| = 0.5$)。对于同一类型的飞机来说,由于机翼面积是一定的,因而颠簸强度只与载重多少有关。载重少时颠簸较强;载重多时颠簸较弱。这和空汽车颠簸较厉害而满载汽车颠簸较轻微的道理是相似的。

但是,也不应该由此得出飞行重量越大越好的结论。因为“没有什么事物是不包含矛盾的”^①,增加飞行重量,固然有利于减轻颠簸,但随着飞行重量的增加,机翼的坚固性却将相

① “矛盾论”。《毛泽东选集》第 1 卷,人民出版社 1952 年第 2 版,第 293 页。

应地减小，而且，后者的不利作用往往超过前者的有利作用。

上面我們分別討論了扰动气流、飞行速度和飞机翼载荷等因子与颠簸强度之間的关系。如果略去水平气流的作用，这一关系可以用下式^①来表示：

$$\Delta n = \frac{W\rho VK}{2G/S} \quad (20-5)$$

式中 W ——垂直陣性气流的速度；

ρ ——空气密度；

V ——飞行速度；

K ——飞机迎角与升力系数关系曲綫的斜率；

G/S ——飞机的翼载荷(S 是机翼面积， G 是飞机重力)。

对于等速平飞的飞机來說，除垂直陣性气流的速度 W 以外，其余各项都可看作常数，因而颠簸强度只取决于外界的扰动气流。

从上式可以看出，载荷因数变量的大小与垂直气流的速度成正比。相对于平飞情况來說，如果飞行中遇到的是上升气流， Δn 为正；如遇下降气流， Δn 为負。利用这个公式，根据飞机加速表測得的载荷因数变量值，也可以反过来推算扰动气流的强度。

三、颠簸区的空間分布特征

有經驗的飞行人員都有这样的体会：飞行中产生颠簸常常是很突然的，但在改变一定高度或改变航向后，又能迅速地恢复正常的飞行状态。这说明：发生颠簸的区域是有一定的厚度和宽度的。下面我們根据国外的一些統計資料，介紹一下颠簸区厚度和宽度的一般情况。因为低层产生的飞机颠簸多与地形和云有联系，根据云的形状和地表状况就可以大致推断颠簸区的范围，所以，这里着重介紹較高层次上的一些材料。

(一) 颠簸层的厚度

图 20-8 是加拿大上空 5500—13500 米高度之間颠簸层厚度的累积出現頻率的分布曲綫，横座标是厚度，纵座标是颠簸层厚度的累积出現頻率。

由图可見，颠簸层的厚度变化范围較大，薄的在百米以下，厚的可达 2000 米或以上。厚度在 800 米以下的占多数(約 67%)；厚度在 800—1600 米的約占 18%；而厚度在 1600—2200 米之間的，則不足 5%。

此外，苏联的材料表明，在 6—12 公里高度之間，强烈颠簸层的厚度通常不超过 200—300 米。美国和加拿大的材料也同样表明了这一点。

(二) 颠簸区的宽度

有关颠簸的統計材料表明：颠簸区的宽度可从几公里到 400—500 公里，但多数是在 80

① 公式推导見附录十。

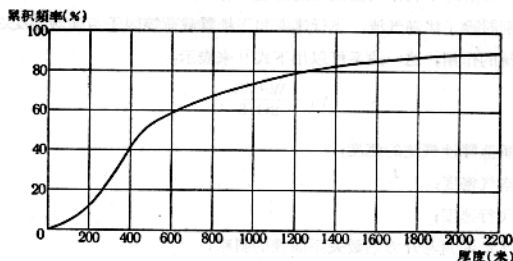


图 20-8 加拿大上空 5500—13500 米之間顛簸层厚度的累积出现频率的分布

公里以內。如图 20-9 所示的加拿大上空的情况，宽度在 80 公里以內的约占 77% 左右。

由上述可見，飞行中出現顛簸时，如改变数百米高度或暂时偏离航线数十公里，在一般情况下就可以脱离顛簸区。

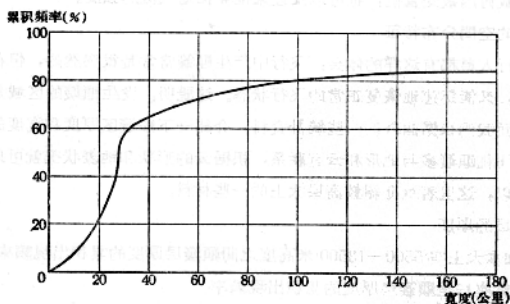


图 20-9 加拿大上空 5500—13500 米之間顛簸区宽度的累积出现频率的分布

第三节 顛簸区中的飞行

一、顛簸的影响

飞机产生顛簸，特别是产生强烈的顛簸时，对于飞机结构、操纵飞机、仪表指示，以至于编队、投弹、射击等活动，都有很大的影响。

(一) 对飞机结构的影响