

陈廷良 主编

现代运输机 航空气象学



气象出版社



现代运输机航空气象学

陈廷良 主编

气象出版社

(京)新登字046号

内 容 简 介

本书总结了近几十年来国内外现代运输机飞行因气象原因发生飞行事故的经验教训,主要阐述雷暴、降水、低空风切变、低能见度、飞机积冰、颠簸等天气条件对现代运输机起降、航行的影响,以及应采取的措施。此外,还介绍我国航空气候、天气预报和航空气象基础知识等方面内容。

全书既有基本理论,又有飞行实践和气象保障经验的总结,对充分运用气象条件,避开不利天气,提高飞行效率,安全完成飞行任务具有指导意义。本书是为运输机飞行人员、航管人员、气象人员编写的,也可供飞行保障人员和业余航空爱好者阅读。

现代运输机航空气象学

陈廷良 主编

责任编辑 顾仁俭

*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京市燕山联营印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 15.75 字数: 401千字

1992年11月第一版 1992年11月第一次印刷

印数: 1—5000 定价: 14.50元

ISBN 7-5029-1076-X/P·0525

前 言

航空气象学是气象学的分支，属应用气象学，是研究各种气象要素对航空技术装备和航空活动影响的一门科学。

《现代运输机航空气象学》是阐述气象条件对运输机的起飞、航行、降落以及其它各种飞行活动影响的著作，其主要任务是保障飞行安全、提高飞行效率，以及充分运用气象条件避开不利天气的影响，利用有利天气顺利完成任务。

现代航空运输是快速、省时、高效率的交通工具，随着经济的发展，国内外航空运输正迅猛发展，据国际民航统计，目前国际远程旅行90%以上人员是乘坐飞机。据近10年统计，世界民航飞行起落数每年增长30%，乘客人数每年增加50%。

飞行安全是航空事业的灵魂和纽带，是各国航空公司最关心的头等大事，是每个旅客踏进飞机客舱之后最大的愿望，是全体为航空运输服务人员的中心任务和职责。因此，飞行安全是航空运输的生命线。

由于航空运输活动是在空中进行的，而任何飞行都需要在一定气象条件下进行，因此，目前航空运输在很大程度上受天气因素的制约。天气对飞行活动具有重大影响，它既能有助于完成任务，又会妨碍任务的完成甚至危及飞行安全。据国际民航近13年飞行事故统计来看，事故年平均为36起，近13年因气象原因造成的飞行事故共160起，年平均为12.3起，占总事故的 $\frac{1}{3}$ ，在飞行事故9类原因中占第二位。据国内1979—1989年统计，运输机飞行与气象有关的飞行事故占总事故的26.2%。因此，编写现代运输机航空气象学具有重要性、紧迫性和现实性的意义。

本书的特点是总结了近几十年国内外运输机飞行因气象原因

11/15/05

发生飞行事故的经验教训，阐述中既注意抓住各气象要素对飞行的影响及预防措施，又照顾到飞行人员应掌握的气象基础知识。

本书的编写者都是具有30多年丰富气象保障实践经验的人员。在编写过程中参阅了大量有关资料，其中有40多本国内外有关气象学、天气学、航空气象学以及大百科全书的有关部分等书籍；翻阅了近代运输机飞行手册，收集了国际民航近13年、美国民航近29年和国内运输机飞行40年与气象有关的飞行事故个例，书中对一些重要数据及名词进行了反复考证，达到取长补短，准确可靠。

本书由高级工程师陈廷良主编。第二、三、五、九、十章由陈廷良同志执笔；第一、四、八章及十一章中的三、四、五、六节由沈森观同志执笔；第六、七、十二章及十一章中的一、二节由刘国安同志执笔。

本书编写过程中得到赵颂华教授、李化添、陆长荣、朱学富等同志以及气象界、航空界许多同志指教，在此表示感谢。由于编写时间短和编写人员水平所限，有不当之处欢迎读者批评指正。

一九九一年十月

目 录

第一章 气象基础知识	(1)
第一节 地球大气	(1)
第二节 大气环流	(8)
第三节 气旋、反气旋、热带气旋	(12)
第四节 气团和锋	(28)
第五节 影响我国的锋面活动	(33)
第六节 锋面天气及其对飞行的影响	(39)
第二章 大气物理状态	(46)
第一节 大气温度	(46)
第二节 空气湿度	(47)
第三节 大气压强	(49)
第四节 空气密度	(54)
第五节 气压高度表的拨定	(57)
第六节 气压、气温和空气密度对飞行的影响	(62)
第三章 风	(76)
第一节 风的观测	(76)
第二节 地方性风	(77)
第三节 摩擦层中的风	(83)
第四节 我国大风主要天气系统	(87)
第五节 风对飞行的影响	(90)
第四章 云	(99)
第一节 云的形成和结构	(99)
第二节 云的识别	(106)
第三节 云对飞行的影响	(116)
第五章 降水	(124)
第一节 降水的观测	(124)

第二节	降水的形成	(126)
第三节	各类云状的降水与人工影响天气	(129)
第四节	我国降水概况	(131)
第五节	降水对飞行的影响	(140)
第六章	能见度及视程障碍现象	(147)
第一节	能见度	(148)
第二节	跑道视程及其探测	(159)
第三节	雾及其对飞行的影响和人工消雾	(162)
第四节	烟幕、霾、风沙、浮尘、吹雪及其对飞行的影响	(168)
第五节	在低能见度条件下飞行应采取的措施	(171)
第七章	飞机颠簸	(173)
第一节	大气湍流	(174)
第二节	急流	(183)
第三节	颠簸的形成和强度分级	(186)
第四节	产生颠簸的天气系统和地区	(193)
第五节	颠簸对飞行的影响和在颠簸区飞行应采取的措施	(200)
第八章	飞机积冰	(205)
第一节	积冰的形成和种类及强度划分	(206)
第二节	各种云中积冰的特点及天气形势	(213)
第三节	积冰对飞行的影响	(223)
第四节	积冰的预防和处置措施	(231)
第九章	雷暴	(235)
第一节	雷暴的形成与发展	(235)
第二节	雷暴的种类	(245)
第三节	雷暴活动的特征	(251)
第四节	雷暴对飞行的影响	(256)
第五节	在雷暴活动区中飞行应采取的措施	(278)
第十章	危及飞行安全的低空风切变	(281)
第一节	低空风切变及其强度	(281)
第二节	产生低空风切变的天气条件	(288)
第三节	低空风切变对飞行的影响	(290)

第四节	如何判断低空风切变	(301)
第五节	遭遇低空风切变时应采取的措施	(304)
第十一章	我国航空气候及几种飞行气象特点	(307)
第一节	我国航空气候要素的分布	(307)
第二节	我国各区航空气候特征	(334)
第三节	高空、超高空飞行气象特点以及对飞行的影响	(345)
第四节	热带和海上飞行气象特点	(355)
第五节	山地和青藏高原飞行气象特点	(371)
第六节	极地和荒漠地区飞行气象特点	(386)
第十二章	天气图及航空天气预报	(403)
第一节	地面天气图、高空天气图及小区域地面天气图	(403)
第二节	气象传真天气图及辅助天气图	(415)
第三节	气象雷达回波图及气象卫星云图	(427)
第四节	航空天气预报	(436)
第五节	军航、民航预报表的使用	(448)
参考文献	(461)
附表一	中国主要城市各月平均气温(℃)、平均降水量(毫米)资料	(464)
附表二	中国主要城市平均最高气温和极端最高气温资料	(467)
附表三	中国主要城市平均最低气温和极端最低气温资料	(469)
附表四	中国气候之最	(471)
附表五	人体对气温、湿度的感觉情况	(472)
附表六	估计气温表	(472)
附表七	二十四节气日期表	(473)
附表八	中国主要机场日出日没时刻表	(474)
附表九	世界各地时差对照表	(478)
附表十	地震烈度表	(479)
附表十一	地震震级与震中烈度的关系	(479)

附表十二	千米/小时换算成米/秒表	(480)
附表十三	海里/小时换算成千米/小时表	(481)
附表十四	毫米换算百帕表	(482)
附表十五	国际运输机气象标准	(484)
附表十六	民航航站天气预报中使用简字符号 的说明	(484)
附表十七	国际民航气象报格式	(485)
附表十八	地面气象观测对空报告电码	(486)
附表十九	危险天气报告电码	(487)
附表二十	近四年国际民航事故原因分类表	(488)
附表二十一	近十三年国际民航事故气象原因 分类表	(489)
附表二十二	国内运输机与气象原因有关的飞行 事故分类表	(490)
附表二十三	美国民用航空气象原因事故统计表	(491)
附图	静风条件下不舒适指数	(492)
附录一	运输机航线飞行天气报告规定	(493)
附录二	高度表拨正值	(494)

第一章 气象基础知识

本章主要介绍大气的组成和结构、大气环流和天气系统的基本知识。

第一节 地球大气

包围着地球的空气层称为地球大气，简称大气。由于大气的不断运动变化产生了各种天气现象和天气变化。飞机是在大气中翱翔，因此，飞行人员必须对自己的飞行环境——大气，有清楚的了解。

一、大气的组成

大气是由干洁空气、水汽和气溶胶质粒的固态或液态悬浮粒子混合组成的。

(一) 干洁空气：

它是指除水汽和气溶胶质粒以外的各种气体组成的无色、无臭、无味的混合气体。其中以氮、氧、氩和二氧化碳的含量最多，占全部干洁空气总容积的99.997%，其它气体含量极少。

大气探测资料得知：从地面到85千米高度附近的大气层，由于空气的垂直和水平运动的混合作用，大气均匀混合，其主要成分的比例几乎是不变的，因此叫匀和层或混合层。其气体成分可分为：以氮、氧、氩为主的不可变气体，其中各成分所占比例基本上不随时间、空间而变化；以二氧化碳、臭氧、水汽为主的可变气体，它们所占比例有很大变化（见表1-1）。

在干洁空气的成分中，臭氧和二氧化碳所占比例虽然极少，但对大气温度分布却有较大的影响。臭氧是由氧分子离解为氧原子后，又和其它氧分子结合而成的气体，它分布很不规则，随高

表 1-1 近地面干洁空气的成分

气体成分	分子量	在干洁空气中含量(%)		临界温度 (℃)	临界压强 (大气压)*	密度		
		按容积	按质量			标准状况下的绝对值(克/米 ³)	对空气的比值	
常 定 成 分	氮 N ₂	28.0134	78.0840	75.5230	-147.2	33.5	1250	0.967
	氧 O ₂	31.9988	20.9476	23.1420	-118.9	49.7	1429	1.105
	氩 Ar	39.948	0.9340	1.2800	-122.0	48.7	1786	1.379
	氖 Ne	20.183	1.818×10^{-3}	1.27×10^{-3}	-228.0	26.0	900	0.695
	氦 He	4.0026	5.24×10^{-4}	7.2×10^{-5}	-258.0	2.3	178	0.138
	氪 Kr	83.80	1.14×10^{-4}	3.3×10^{-4}	-63.0	54.0	3736	2.868
	氙 Xe	131.300	3.7×10^{-6}	3.9×10^{-5}	16.6	58.2	5891	4.524
可 变 成 分	二氧化碳 CO ₂	44.00995	0.0314	0.0500	31.0	73.0	1977	1.529
	氢 H ₂	2.01594	5.0×10^{-5}	4.0×10^{-5}	-239.0	12.8	90	0.070
	臭氧 O ₃	47.998	4.0×10^{-6}	$0.2 \sim 2.0 \times 10^{-5}$	-5.0	92.3	2140	1.624
	甲烷 CH ₄	16.04303	1.5×10^{-4}	1.0×10^{-4}			717	
	氧化亚氮 N ₂ O	44.016	2.7×10^{-5}	5.0×10^{-5}			1978	
	一氧化碳 CO	28.010	1.9×10^{-5}	$0.06 \sim 1.0 \times 10^{-4}$				
	二氧化氮 NO ₂	46.008	1.0×10^{-7}	$3.08 \sim 3.0 \times 10^{-6}$				
	氨 NH ₃	17.030	4.0×10^{-7}					
	二氧化硫 SO ₂	64.06	1.0×10^{-7}					
	硫化氢 H ₂ S	34.08	5.0×10^{-4}					
干洁空气	28.966	100	100	-140.7	37.2	1293	1.0	

* 1大气压=1013.25百帕,下同。

度而改变,一般近地面层含量极少,从10千米高度开始逐渐增加,在20—25千米高度上达到最大值,故该层又称为臭氧层。臭氧能大量吸收太阳紫外线,使含臭氧的大气层增暖。同时,还能

使地面上的生物免遭过量紫外线的伤害，少量到达地面的紫外线可杀菌防病和利于有机物生长。

二氧化碳主要来源于有机物的燃烧和动植物的呼吸等，多集中在20千米高度以下。一般来说，二氧化碳夜间多于白天，阴天多于晴天，陆地多于海洋；其季节性变化明显，北方地区冬末浓度最高，9，10月份降至最低。二氧化碳对太阳辐射吸收很少，但却能强烈吸收地面辐射，同时又向周围空气和地面放射长波辐射，因此，它能使大气和地面保持一定的温度。

(二) 水汽：

大气中的水汽来自江、河、湖、海及湿物体表面的蒸发，并借空气的垂直交换向上输送。一般情况下，空气中的水汽含量随高度增高而减少的，观测证明：在1.5~2千米高度处只有地面的一半；在5千米高度上为地面的十分之一；再向上则水汽就更少了。在特殊情况下，也有某一气层水汽含量随高度升高而增多的现象。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%。

大气中的水汽是天气变化的重要因素之一。水汽在自然条件下，能发生气态、液态和固态之间的相变，因而成云致雨，产生一系列的天气变化。另外，由于水汽能强烈吸收地面辐射，同时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，故对地面和大气温度有一定的影响。

(三) 气溶胶质粒：

它是指悬浮于大气中的固体和液体粒子，多集中在大气的低层。其来源有自然源和人工源两类。自然源有火山爆发、森林火灾、风沙扬尘、宇宙尘埃、岩石风化、浪花飞溅和有机物腐烂等；人工源主要是人类活动、生产等的排放物。

大气中的气溶胶质粒能作为凝结核，对云、雨的形成起着重要作用。同时，它也能吸收和散射太阳辐射，对地区和空气的温

度有一定影响。它能降低能见度，影响飞行活动。

二、大气的结构

由于地球引力作用，使空气聚集在地球周围，构成了“大气圈”，并随地球的运动而运动。同时，大气由于引力作用，其质量向低层密集，各层大气在大气总质量中所占比例为：高度在5千米以下占50%；10千米以下占75%；15千米以下占90%；在48千米以下占99.9%。近地面的大气密度平均为1.225千克/米³，随高度增高密度迅速减小，在100千米高度上只有 5.6×10^{-7} 千克/米³，在1600千米高度上只有海平面上空气密度的百万亿分之一。就是这样小的密度也比星际气体的密度大得多，可见地球大气是伸展很远的。

对大气上界的划定，由于着眼点不同，所得的结论也不同，一种着眼于大气物理现象，例如极光只在大气中产生，根据观测资料它可以出现在1200千米高度上，因而把这个高度定为大气的上界。另一种着眼于大气密度，用接近于星际气体密度的高度作为大气上界，这个高度约为2000—3000千米。近来有人提出大气的上界是磁层顶，把向太阳一侧的磁层顶高度作为大气上界，它距地面约57000千米。

对大气进行直接和间接探测得知，大气具有层状结构。大气的层次通常是以气温的垂直分布为依据来划分的。气温主要受太阳辐射的影响，由于各个高度上空气距地表远近不同和空气的成分及物理性质不同，太阳辐射产生的热效应也不同，因而大气形成了几个温度分布不同的层次。

根据中纬度大气温度垂直分布的平均情况，将大气分为对流层、平流层、中层、热层和外逸层等五个层次（见图1-1）。各层次没有精确的界限，其高度随时间和纬度的不同有明显的变化。

(1) 对流层：该层位于大气圈最下部，其厚度在赤道约17—18千米，在中纬度平均约12千米，在极地约8千米。同大气总厚

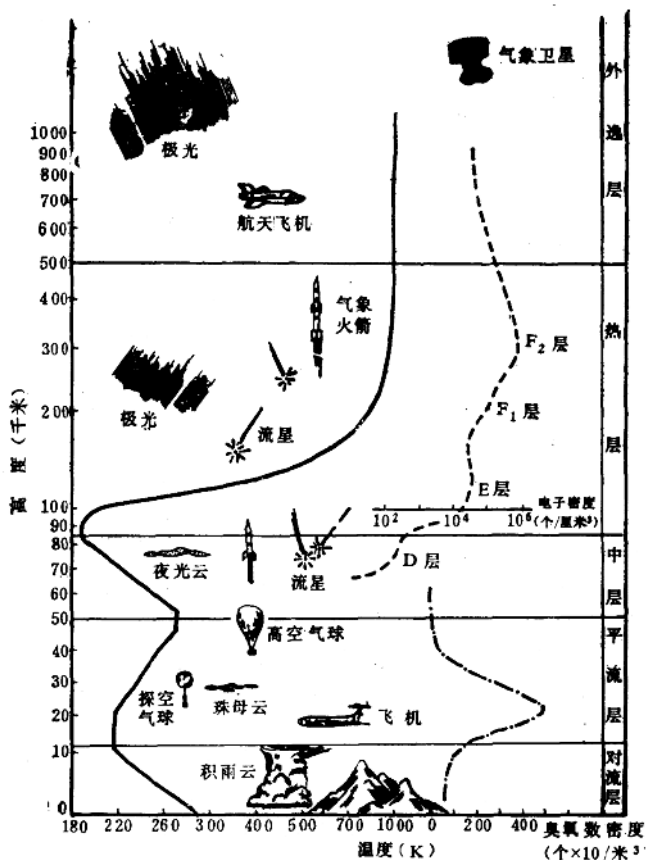


图 1-1 大气分层示意图

度相比，对流层是很薄的，但集中了整个大气75%以上的质量和95%以上的水汽。大气中各种天气现象和天气变化都出现在这一层中，是对人类的生产、生活以及飞行活动等影响最大的层次。其主要特点是：

a. 气温随高度升高而降低。由于对流层中的空气主要从地表获得热量，因而气温的垂直分布是向上递减的。气温直减率(γ)的大小随时间、地点和高度的不同而变化，平均而言，每上升100米，气温下降 0.65°C 。

b. 空气具有强烈的垂直混合。由于地表受热不均，使空气产生对流和乱流运动。这种垂直混合的强度因纬度和季节而不同，低纬地区和夏季较强；高纬地区和冬季较弱。

c. 气象要素水平分布不均匀。对流层受地表的影响很大，由于地表性质的明显差异，气温、湿度等气象要素的水平分布很不均匀，特别是冷暖空气交绥的区域，差别更为明显，往往伴有剧烈的天气变化，使飞行活动受到很大影响。

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：

F层（又称摩擦层）：它的范围是自地面到2千米高度。其厚度一般夏季大于冬季，白天大于夜间。该层受地表热力作用和摩擦作用的影响大，空气对流和乱流运动很强，水源充足，因而常有低云和雾出现。地面到100米高度称近地面层，此层气温、湿度和风速等变化最为强烈，在短时间内和短距离内都能产生剧烈变化，对飞机起降和低空飞行影响很大。

中层：是指摩擦层顶到约6千米高度的气层。因受地面影响较小，气流状况可表征整个对流层空气运动的基本趋势，云和降水现象大都在此层内产生。

上层：是从约6千米到对流层顶。常年气温低于 0°C ，云体多由过冷水滴和冰晶组成。

在对流层与平流层之间，有一个厚度为数百米到1—2千米的过渡层，称为对流层顶。其主要特征是温度随高度不变或变化很小，对垂直气流有很大的阻挡作用。

(2) 平流层：从对流层顶到约50千米高度的大气层称平流层。其特点：

a. 该层的下半部，温度随高度的变化很小或不变；上半部的温度随高度升高而显著增高，到平流层顶可达 0°C 。这是臭氧强烈吸收紫外辐射的结果。

b. 该层水汽稀少，空气的垂直混合显著减弱。在中纬地区20—30千米高空，有时会出现由细小冰晶组成的珠母云。夏季发展强烈的积雨云有时可伸展到该层下部。

c. 该层夏季盛行以极地高压为中心的东风环流，冬季则为极地低压，整个中高纬度盛行西风环流。

d. 该层水平风速较大，在冬季该层底部，特别是两极地区常有80米/秒的强风。

e. 大气层结稳定。上半部几乎没有垂直气流，故飞行时空气阻力小。但因天气暗淡，目测困难，空气密度又小，因而飞机的空气动力性能变差，操纵时飞机反应迟缓。

(3) 中层：从平流层顶到85千米高度的大气层称中层。其特点是：气温随高度升高而迅速降低，每上升1千米约降低 3.5°C ，该层顶部可降至 -83°C 以下，是大气中温度最低的层次。由于垂直温度的分布有利于对流运动的发展，故垂直混合明显，有高空对流层之称。

(4) 热层：中层顶到热层顶的大气称热层，也叫暖层。其特点是：气温随高度升高而迅速增高，在300千米高度上温度可在 1000°C 以上。另外，在强烈紫外辐射和宇宙射线的作用下，大气处于高度的电离状态。故此层亦称电离层。

(5) 外逸层：热层顶以上的大气层统称为外逸层。主要成分是最轻的气体元素氦和氢。该层大气极其稀薄，均处于电离状态，温度很高，地球引力极小，故气体粒子运动很快，有些气体粒子克服引力外逸到星际空间。外逸层是地球大气和星际空间的过渡带。

从航天考虑，通常把大气分成两部分：150千米以下称为低层大气或稠密大气；150千米以上到930000千米称为近地宇宙空

间。在低层大气中因空气阻力，故需用动力装置才能围绕地球飞行，但在150千米以上就不需开动发动机，飞行器也能依靠惯性而绕地球飞行。

第二节 大气环流

大气环流是指大范围的大气运动状态，其流场的水平尺度达数千千米，垂直尺度达10千米以上，时间尺度一般在两天以上，它是各种尺度天气系统活动的背景。

一、大气环流模式

在太阳辐射和地球偏向力等因素的共同作用下，南北半球近地面层形成了如图1-2的四个气压带，即赤道低压带、副热带高压带、极地低压带和极地高压。同时相应地形成了三个风带，即东北信风带、盛行西风带和极地东风带。这些风带与上空气流结合起来，构成三个环流圈，即信风环流圈、中纬度环流圈和极地环流圈。



图 1-2 北半球气压和气流的分布
(I 信风环流圈；II 中纬度环流圈；III 极地环流圈)

以北半球为例，在赤道地区空气受热上升，使高压等压面向北倾斜，气压梯度力使空气向北流动。随着纬度增加，地转偏向力增大，当空气运动到20—30°N的副热带时，所受到的气压梯度力与地转偏向力大体平衡，空气接近沿纬圈流动。赤道地区因