

航空 HANG KONG
QI XIANG XUE

气象学

主 编◎张燕光 副主编◎傅 宁

中国民航出版社

航空气象学

主编 张燕光 副主编 傅宁



中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

航空气象学/张燕光主编. —北京: 中国民航出版社,
2014. 6

ISBN 978-7-5128-0183-7

I. ①航… II. ①张… III. ①航空学-气象学
IV. ①V321.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 115049 号

航空气象学

张燕光 主编 傅宁 副主编

责任编辑 李婷婷
出版 中国民航出版社 (010) 64279457
地址 北京市朝阳区光熙门北里甲31号楼 (100028)
排版 嘉承设计
印刷 北京金吉士印刷有限责任公司
发行 中国民航出版社 (010) 64297307 64290477
开本 787×1092 1/16
印张 21.25
字数 378千字
版印次 2014年6月第1版 2014年6月第1次印刷

书号 ISBN 978-7-5128-0183-7
定价 42.00元

官方微博 <http://weibo.com/phcaac>
淘宝网 <http://shop106992650.taobao.com>
电子邮箱 phcaac@sina.com

前 言

航空气象学是气象学的分支，属于应用气象学，是研究各种气象条件对航空活动和航空技术的影响、研究航空气象服务方式方法的一门科学。

安全、高效、通畅、便捷是现代航空运输业的发展目标，而保证飞行安全更是航空运输系统从业者的首要职责和使命。近年来，随着我国航空业的迅猛发展、飞行活动量的急剧增加，天气对飞行活动的制约日益凸显，对飞行安全、航空运行效率、航空企业经济成本及旅客舒适度等方面的影响也愈来愈引起社会的广泛关注。因此，对于航空器驾驶员、航空公司运行控制人员、空中交通管理人員和机场运行指挥人员等航空从业者而言，深入掌握航空气象理论知识，全面熟悉航空气象服务流程，准确理解和运用航空气象产品，进而保障航空活动的安全性、经济性、高效性和顺畅性就显得尤为重要。

《航空气象学》融合了航空气象学基础理论、我国航空气象服务体系及编者对航空气象未来发展的理解，参照我国现行有效的航空气象规章及规范性文件编写而成。本书采用理论知识和实践技能相结合的方式，既阐述了各种气象要素、天气现象和天气系统对航空活动的影响及其与航空活动的关系等基础理论，又涵盖了航空气象服务方式方法、航空气象保障技术和航空气象资料运用等实践技能。

全书共分九章：第一章至第六章主要介绍航空气象学基础理论和气象条件对航空活动的影响；第七章至第九章主要介绍我国航空气象业务运行状况、航空气象服务保障技术和航空气象资料。通过本书的学习，读者可以较为全面地获悉航空气象知识。

本书由中国民航大学空中交通管理学院《航空气象学》教材编写组成员张燕光、傅宁、潘丽丽、台宏达、韩博、梁珊珊等编写，张燕光对全书结构及内容进行了审定。中国民用航空局空管行业管理办公室航空气象处、民航气象中心、民航天津机场气象台等民航气象单位的专家和同仁对本教材的编写给予了大力支持，中国民航大学蒋立

辉教授和天津市气象局正研级高级工程师郭虎在教材审定过程中提出了大量宝贵意见，在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间短和编者水平所限，本书中错误和疏漏在所难免，欢迎读者批评指正。

本书编写组
2013年12月

目 录

前 言

第一章 大气的组成和结构	1
第一节 大气的组成	1
第二节 大气结构	5
第三节 空气状态方程	12
第四节 标准大气	13
第二章 基本气象要素	17
第一节 大气温度	17
第二节 大气压强	21
第三节 大气湿度	28
第四节 基本气象要素对飞行的影响	30
第三章 大气的运动	40
第一节 大气的水平运动——风	40
第二节 风对飞行的影响	52
第三节 空气的垂直运动	55
第四章 云和降水及视程障碍现象	65
第一节 云的分类与外貌特征	65
第二节 云的形成与天气	78
第三节 降水	84
第四节 能见度	90
第五节 视程障碍天气现象	99

第五章 天气系统	106
第一节 气团	107
第二节 锋	111
第三节 温带气旋和反气旋	120
第四节 热带天气系统	126
第五节 西风带槽脊	131
第六章 航空危险天气	136
第一节 雷暴	136
第二节 低空风切变	164
第三节 飞机颠簸	177
第四节 飞机积冰	190
第五节 急流	206
第七章 航空气象业务	211
第一节 航空气象服务概况	211
第二节 航空气象观测业务	219
第三节 航空气象预报业务	232
第八章 常规天气资料	238
第一节 天气图	238
第二节 天气雷达	248
第三节 卫星云图	255
第四节 其他资料	274
第九章 航空气象资料	289
第一节 航空气象观测资料	290
第二节 航空天气预报资料	297
第三节 其他气象情报与告警资料	324

第一章 大气的组成和结构

地球表面的外层空气，受地球重力的作用，围绕地球占有一定的空间，称为大气（Atmosphere）。大气一方面阻挡了来自宇宙和太阳的有害辐射，成为地球生物生存必不可少的保护层；另一方面也提供了动植物维持生命活动所需要的各种气体，对地球的自然环境产生深远影响。大气的不断运动变化产生了各种天气现象和天气变化，飞机在大气中飞行，与周围自然介质发生复杂的相互影响。

第一节 大气的组成

地球大气是一种混合物，它由三个部分组成：干洁空气、水汽和气溶胶质粒。据研究，在 86km 高度以下，大气的气体成分可分为两类：第一类为常定成分，主要包括氮、氧、氩以及微量的惰性气体氦、氦、氦、氦等，它们在大气成分中保持相对固定的比例，如表 1-1 所示；第二类为可变成分，其比例随时间、地点而变，主要包括水汽、二氧化碳（ CO_2 ）和臭氧（ O_3 ），其中水汽的变化幅度最大，并可在大气环境的温度、气压条件下发生相态的变化。二氧化碳和臭氧所占比例最小，但对气候影响较大。

此外大气还包含少量的呈悬浮状态的固态、液态微小颗粒物质，这些物质被称为大气气溶胶质粒。

表 1-1 86km 高度以下地球大气的气体成分

成分		分子式	分子量	体积混合比	相对于干空气的密度	
主要成分	常定	氮	N ₂	28.0134	78.084%	0.967
		氧	O ₂	31.9988	20.946%	1.105
		氩	Ar	39.948	0.934%	1.379
	可变	水汽	H ₂ O	18.016	0~7%	0.622
		二氧化碳	CO ₂	43.999	348ppm* (1987) 年均增率 0.37%	1.519
微量成分	常定	氖	Ne	20.179	18.18ppm	0.697
		氦	He	4.003	5.24ppm	0.138
		氪	Kr	83.80	1.14ppm	2.893
		氙	Xe	131.30	0.087ppm	4.533
	可变	甲烷	CH ₄	16.04	1.7ppm (1987) 年均增率 0.8%	0.554
		氢	H ₂	2.016	0.4~1.0ppm	0.0696
		臭氧	O ₃	47.998	0.4ppm	1.657
		氧化氮	N ₂ O	44.01	0.3ppm (1987) 年均增率 0.3%	1.519
		一氧化碳	CO	28.01	0.01~0.2ppm	0.967
		二氧化硫	SO ₂	64.06	0~0.01ppm	2.212
		氨	NH ₃	17.03	0.002~0.02ppm	0.588
		硫化氢	H ₂ S	34.07	0.002~0.02ppm	1.176
		二氧化氮	NO ₂	46.01	0.001~0.0045ppm	1.588

*ppm: 百万分率 (10⁻⁶)

一、干洁空气

干洁空气是指大气中除去水汽、气溶胶质粒以外的整个混合气体，简称干空气。它的主要成分是氮、氧、氩、二氧化碳等，其容积含量占全部干洁空气的 99.99% 以上。其余还有少量的氢、氦、氪、氙、臭氧等。

由于大气中存在着空气运动和分子扩散作用，使不同高度、不同地区的空气得以进行交换和混合。从地面向上至 80~100km 高处，干洁空气的各种成分的比例基本上是

不发生变化的（见表 1-1）。

其中对人类活动及天气变化有影响的大气成分为：氧气、氮气、二氧化碳和臭氧。

1. 氧气

氧气约占大气体积的 21%，它是动植物生存、繁殖的必要条件。氧的主要来源是植物的光合作用。有机物的呼吸和腐烂，矿物燃料的燃烧需要消耗氧而放出二氧化碳。

2. 氮气

氮气约占大气体积的 78%，它的性质很稳定，只有极少量的氮能被微生物固定在土壤和海洋里变成有机化合物。闪电能把大气中的氮氧化（变成二氧化氮），被雨水吸收落入土壤，成为植物所需的肥料。

3. 二氧化碳

二氧化碳主要源于有机物的燃烧和腐烂，随着工业的发展和人口的增长，空气中的二氧化碳含量逐年增加，它具有强烈的红外辐射吸收和反射作用，是主要的“温室气体”。二氧化碳含量随地点、时间而异。人烟稠密的工业区的空气中的二氧化碳含量占大气质量的万分之五，农村则大为减少。同一地区空气中的二氧化碳含量冬季多夏季少，夜间多白天少，阴天多晴天少。这是因为植物的光合作用需要消耗二氧化碳。正常情况下，二氧化碳含量在 20km 高度以上明显减少。

4. 臭氧

在干洁空气中，臭氧所占比例极小，但对大气温度分布却有较强的影响。在平流层中，一部分氧气分子可以吸收小于 0.24 μm 波长的太阳光中的紫外线并分解形成氧原子，这些氧原子与氧分子相结合生成臭氧。臭氧分布很不规则，随高度而改变，一般近地面层含量极少，从 10km 高度开始逐渐增加，在 20~25km 处含量为最大，称为臭氧层（Ozonosphere）。臭氧对太阳紫外辐射有强烈的吸收作用，加热了所在高度（平流层）的大气，对平流层温度场和流场起着决定作用，同时臭氧层阻挡了强紫外辐射，保护了地球上的生命。

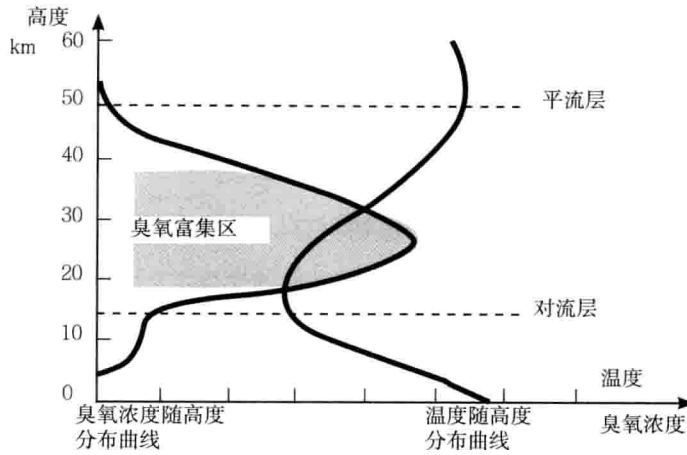


图 1.1 臭氧浓度及大气温度分布曲线

臭氧具有强氧化性。在高空飞行时，机组和乘客会受到臭氧的危害，引起生理上的不良反应。长时间接触臭氧对人体健康的影响是非常严重的，主要是伤害人体的呼吸系统。当空气中臭氧含量超过百万分之一时，就会破坏人体的呼吸系统，如含量更高时，将危及人的生命。飞机客舱环境空气是由飞机发动机引气来维持的，在发动机加压、加热的情况下，大部分臭氧都遭到破坏，进入机舱的臭氧仅仅是其中非常小的部分。但当外界空气臭氧含量达到百万分之四以上时，机舱内臭氧含量即可达到百万分之一，这将对舱内人员构成危害。目前，大部分飞机未装过滤臭氧的设备。在中高纬度地区，冬半年对流层顶较低，冬末春初时臭氧含量又大，对进入臭氧层的飞机危害增大。故在对流层顶和平流层下部飞行时要加强机舱的密封性，防止臭氧渗入。低纬度和极地地区臭氧层厚度小，对高空飞行影响相对较小，但臭氧对紫外辐射吸收量减少会造成机内人员受紫外辐射影响相对增加。

二、水汽

大气中的水汽主要来自于水面、潮湿物表面的水分蒸发和植物蒸腾，并借助于气流自下向上传递或沿水平方向输送。大气中的水汽含量一般是随高度增加而减少，观测证明：在 1500~2000m 高度处水汽含量只有地面的一半；在 5000m 高度上水汽含量为地面的十分之一；再向上水汽含量就很少了，而整个对流层集中了全部大气水汽总量的 99%。在特殊情况下，也有某一气层水汽含量随高度增加而增多的现象。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%。在干燥的内陆沙漠地区接近于零，而在温暖的洋面或热带雨林地区可达 3%~4%。

一切天气现象的产生，实际上是大气中水汽运动及其相变的结果。随着气流的升降或水平运动，大气中的水汽因温度的改变（主要指温度的降低），会从气态转变为液态和固态，即水汽发生凝结和凝华，从而产生各种天气现象。主要的天气现象有：云、雨、雪、雾、露、霜、雹、霰等。

水汽能强烈吸收地面长波辐射，同时又能向周围空气和地面放射长波辐射，也能吸收、散射和反射部分太阳辐射，并且水汽在相变过程中能吸收或释放热量，其总趋势是使大气增暖，减少地面热量的散失，这对防止地面夜间急剧冷却，保持热量平衡有重要作用。

三、气溶胶质粒

气溶胶质粒是指悬浮于大气中的固体微粒和水汽凝结物。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、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。

第二节 大气结构

地球大气总质量大约为 $6 \times 10^{15}t$ ，仅是地球总质量的百万分之一。由于受重力的作用，大气从地面到高空逐渐稀薄，大气质量主要集中在下部，50% 的质量集中在 5000m 以下，75% 的质量集中在 10km 以下，98% 的质量集中在 30km 以下。对大气进行直接和间接探测可知，地球大气的密度、温度、压力、化学组成等都随高度变化而变化，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

(Lapse Rate of Temperature) 来描述。气温垂直递减率定义为：

$$\gamma = -\frac{\Delta T}{\Delta Z} \quad (1.1)$$

式中 ΔZ 为高度变化量， ΔT 为相应的温度变化量，因此 γ 表示的是气温随高度变化的快慢。从 (1.1) 式中可看出，气温随高度上升而降低时 γ 值为正，气温随高度上升而增高时 γ 值为负。实际运用中，通常将 γ 的单位取为 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

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

$$T_2 = T_1 - (Z_2 - Z_1)\gamma \quad (1.2)$$

二、大气分层

按气温垂直递减率的大小，大气在垂直方向上可以分为：对流层、平流层、中间层、热层和外逸层。

1. 对流层 (Troposphere)

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° 之间）上界高度为 $17\sim 18\text{km}$ ；中纬度地区（纬度 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ）上界高度为 $10\sim 12\text{km}$ ；高纬度地区（纬度在 60° 以上）上界高度为 $8000\sim 9000\text{m}$ 。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。

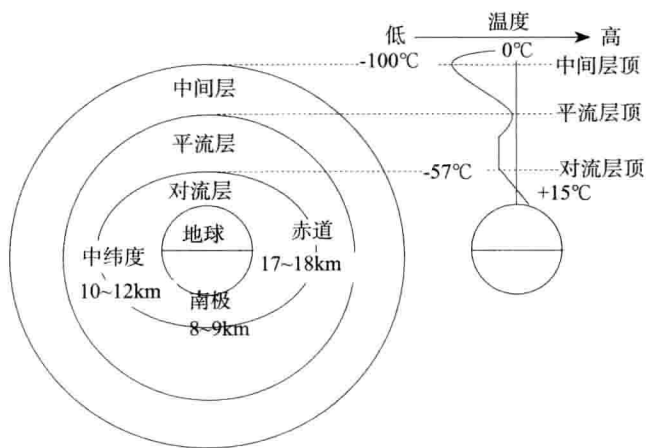


图 1.2 大气分层示意图

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、降水等天气现象和天气变化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。由于地球表面吸收太阳辐射相对较强，地表面相对于其上的空气而言是热源，通过长波辐射和湍流热交换，靠近地面的空气受热后热量再向高处的空气层传递，因此在对流层，气温普遍随高度升高而降低 ($\gamma > 0$)。 γ 的大小随时间、地点和高度的不同而变化，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 。

$$T_Z = T_0 - \bar{\gamma} \cdot \Delta Z \quad (1.3)$$

但 γ 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 (Inversion Layer)，它们对大气运动或某些天气现象的形成具有特殊的作用。

(2) 气象要素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。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，加之地表受热不均带来的温度水平分布不均匀，造成对流层中空气多垂直运动，具有强烈的垂直混合，其强度随纬度的升高而减弱，即低纬度地区较强而高纬度地区较弱，这也就是对流层厚度为什么会从赤道向两极减少的原因。同时，这种垂直混合强度夏季较强，冬季较弱。

在对流层内，按气流和天气现象分布的特点又可分为下层、中层和上层：

(1) 下层：又称大气边界层或摩擦层 (Planetary Boundary Layer or Frictional Layer)，其范围一般是自地面到大约 1500m 高度。随季节和昼夜的不同，下层的范围也有一些变动，一般是夏季大于冬季，白天大于夜间。在这层里，气流受地面摩擦作用的影响较大，湍流交换作用特别强盛，通常，随着高度的增加，风速增大，风向偏转。

这层受地面热力作用的影响，气温亦有明显的日变化。由于本层的水汽、尘粒含量较多，因而，低云、雾、浮尘等出现频繁。地面到 100m 高度这一范围称为近地面层，气温、湿度和风速等变化最为剧烈，在短时间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，例如出现在 600m 以下的低空风切变是飞机起飞和着陆阶段威胁飞行安全的主要危险天气。

摩擦层以上的大气，称为自由大气（Free Atmosphere），在自由大气中地表面的摩擦作用可以忽略。

（2）中层：中层的底界在摩擦层顶，上层高度约为 6000m。它受地面影响比摩擦层小得多，气流状况基本上可表征整个对流层空气运动的趋势。大气中的云和降水大都产生在这一层内。

（3）上层：上层的范围是从 6000m 高度伸展到对流层的顶部。这一层受地面的影响更小，气温常年都在 0℃以下，水汽含量较少，各种云多由冰晶和过冷水滴组成。在中纬度和热带地区，这一层中常出现风速等于或大于 30m/s 的强风带，即所谓的急流。

此外，在对流层和平流层之间，有一个厚度为数百米到 1000~2000m 的过渡层，称为对流层顶（Tropopause）。这一层的主要特征是，气温随高度而降低的情况有突然变化。其变化的情形有：温度随高度增加而降低很慢，或者几乎为等温。根据这一变化的起始高度确定对流层顶的位置。对流层顶的气温，在低纬地区平均约为 -83℃，在高纬地区约为 -53℃。对流层顶是一个强稳定层，其上、下方的天气差异很大。在对流层顶以下飞行，常遇到高云和积雨云顶，其中卷积云常有扰动气流，积雨云顶的扰动气流还更强一些。对流层顶下部常积聚沙尘、烟粒、霾滴，直接影响空中能见度。

对流层顶的高度和温度，明显地随季节和纬度变化，主要取决于地表面接受的太阳辐射能的多少。太阳高度角高、日照时间长时，地面增温高，通过辐射、湍流和对流向上输送热量，对流活动强烈，使对流层增高，对流层顶也高。

2. 平流层（Stratosphere）

对流层之上是平流层。平流层范围从对流层顶到大约 55km 的高度上，平流层的下半部，温度随高度的变化很小或不变化；约从 30km 以上空气热量的主要来源是臭氧吸收太阳紫外辐射，因此气温随高度增高而升高，在平流层顶可达 0℃。平流层中空气稀薄，水汽和杂质含量极少，整层空气几乎没有垂直运动，气流平稳，故称之为平流层。

夏季垂直发展剧烈的积雨云有时可伸展到平流层底部，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。

在平流层中，最重要的气体是臭氧，臭氧总量是随季节和纬度变化的，其最大值出现在春季，最小值出现在冬季。由赤道向极地臭氧总量逐渐增加，在纬度 $75^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 处达最大。

该层夏季盛行以极地高压为中心的东风环流，冬季中高纬盛行西风环流。

从对流层向上的起初几千米范围内，水汽含量陡降，而臭氧含量却增加一个量级以上，这表明对流层和平流层之间的混合是非常微弱的。当大气层核爆炸残留尘和火山喷发的火山灰在平流层中的浓度远超过对流层时，它们可以在平流层中滞留一年以上。

现代大型喷气式运输机的高度可达到平流层低层，以增加飞行的稳定度。原因有以下几点：

(1) 能见度高：地球大气的平流层水汽、悬浮固体颗粒、杂质等极少，天气比较晴朗，光线比较好，能见度很高，便于高空飞行。

(2) 受力稳定：平流层的大气上暖下凉，大气不对流，以平流运动为主，飞机在其中受力比较稳定，便于飞行员操纵驾驶。

(3) 噪声污染小：平流层距地面较高，飞机绝大部分时间在其中飞行，对地面的噪声污染相对较小。

(4) 安全系数高：飞鸟飞行的高度一般达不到平流层，飞机在平流层中飞行就比较安全。

1) 火山灰云对高空飞行的影响

现代运输机在高空作长途飞行，有时会遇到火山灰云 (Volcanic Ash Cloud)。在火山灰云中飞行可造成静压系统工作的各种仪表失真，发动机受火山灰尘杂质腐蚀和堵塞而受损伤，严重时可使发动机熄火，危及飞行安全。

大的火山爆发向大气喷射的物质中，硫的氧化物、氯化物和水汽组成的火山蒸汽可进入平流层，二氧化硫通过气粒转化，匀质核化，形成长生命期的硫酸气溶胶，其他痕量气体会促使平流层臭氧分布发生变化。火山喷发是变化最大的气溶胶源，具有明显的局地性和短时性。在平流层下部和对流层上部，其大气加热率远大于背景气溶胶时的大气加热率。火山灰气溶胶浓度越大，相应的加热率越高。

火山灰随风飘移扩散，其中颗粒大的沉降快，颗粒小的沉降慢，在空中停留时间长，

可影响到 104km 远的地区，更小的粒子可绕地球飘流数圈，在空中停留两周以上。

因此，在国际航班飞行中，遭遇火山灰云的机率还比较高。据统计，1973—1982 年间，飞机因进入火山灰云而受损害的报告有 17 次。其中，1982 年就有两次运输机进入火山灰云中，使发动机熄火，飞机迅速下沉，险些造成重大事故。飞机误入火山灰云中，严重时火山灰像喷沙那样打在机舱玻璃风挡上。吸进的火山灰融化成玻璃胶合状物质，会造成发动机阻塞停车。只有飞行高度降至气温较低、空气密度较大的高度层后，才能把这些胶状物喷出发动机，飞行员才能重新启动发动机，并恢复正常飞行。

起飞前，飞行人员应向航行部门了解航线附近有无火山喷发和火山灰云的报告。如有，要向气象台了解火山灰云的重要天气报告，仔细研究卫星云图，分析火山灰云的高度和范围，再根据预报的高空风，计算出飞行期间火山灰云的移动，作好绕飞计划。

2) 辐射的危害

在高度 20km 以下飞行，银河系宇宙辐射和太阳色球层爆发产生的辐射剂量通常并不大，对机组和乘客无危害。但在太阳活动期，太阳色球层爆发增强的高能质子穿过高层大气时，产生大量次级粒子，在 18~21km 高度上可形成相当大的浓度，往往超过人体安全所允许的剂量。从太阳色球层爆发，到超音速飞机巡航高度上辐射剂量增大，只需 15~30 分钟。若能及时发现并向机组通报，飞机可降低到安全高度。在 12km 高度以下飞行，即使在太阳色球层爆发最强时期也是安全的。

太阳色球层爆发会产生无线电干扰，妨碍地面与空中飞机的通讯联系，故机上最好安装测量辐射剂量的设备，加强防范。

3. 中间层 (Mesosphere)

中间层是高度在离地表 50~85km 的一层，该层几乎没有臭氧，而氮气和氧气等气体所能吸收的波长更短的太阳辐射又大部分已被上层大气所吸收了，因此该层温度随高度增加而下降，每上升 1000m 约下降 3.5℃，到离地表高度 85km 的中间层顶 (Mesopause)，温度接近最小值，约为 -80℃，是大气中温度最低的地方。在该层内由于温度的垂直分布又出现比较强的垂直对流作用。

4. 热层 (Thermosphere)

中间层之上，上界可达 800km 以上的大气层称为热层。热层的空气极为稀薄，在