

中国民用航空总局飞标司推荐

民用航空器维修基础系列教材

空气动力学和维护技术基础

KONGQIDONGLIXUEHEWEIHUJISHUJICHU

(ME、AV)

李幼兰 主编



兵器工业出版社

中国民用航空总局飞标司推荐.
民用航空器维修基础系列教材

空气动力学和维护 技术基础 (ME、AV)

李幼兰 主编

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书为《民用航空器维修基础系列教材》之一。全书分上篇和下篇两部分：上篇共分4章，主要介绍了大气物理学，空气动力学，飞行理论，飞机的稳定性和操纵性；下篇共分9章，主要介绍了航空材料，金属腐蚀和机体防腐措施，航空紧固件，弹簧、轴承和传动，飞机图纸规范与识图，飞机称重与平衡，无损检测方法，非正常事件，飞机地面操作和存放等内容。

本书内容图文并貌，通俗易懂，是民用航空器维修执照人员必须掌握的基本知识。

图书在版编目 (CIP) 数据

空气动力学和维护技术基础：ME、AV/李幼兰主编. —北京：兵器工业出版社，2006.7

(民用航空器维修基础系列教材)

ISBN 7-80172-680-4

I. 空... II. 李... III. ①空气动力学—教材 ②飞机—维护—教材
IV. ①V211.1 ②V267

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 063735 号

出版发行：兵器工业出版社

发行电话：010-68962596, 68962591

邮 编：100089

社 址：北京市海淀区车道沟10号

经 销：各地新华书店

印 刷：北京市登峰印刷厂

版 次：2006年7月第1版第1次印刷

印 数：1—5000

责任编辑：朱丽均

封面设计：李 晖

责任校对：全 静

责任印制：赵春云

开 本：787×1092 1/16

印 张：20.5

字 数：480千字

定 价：53.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

《民用航空器维修基础系列教材》 编写委员会

主任委员：徐超群

副主任委员：任仁良

编委：徐超群 任仁良 郑连兴 许春生
李幼兰 王会来 朱丽君 刘建英
张铁纯 刘建新 郝劲松

出版说明

2005年8月,中国民航规章CCAR-66R1《民用航空器维修人员执照管理规则》考试大纲正式发布执行,该大纲规定了民用航空器维修持照人员必须掌握的基本知识。随着中国民用航空业的飞速发展,迫切需要大批高素质的民用航空器维修人员。为适应民航的发展,提高机务维修人员的素质和航空器维修水平,满足广大机务维修人员学习业务的需求,中国民航总局飞标司组织成立了《民用航空器维修基础系列教材》编写委员会,其任务是编写一套适用于中国民航维修要求,实用性强、高质量的培训和自学教材。

为方便机务维修人员通过培训或自学,参加维修执照基础部分考试,本系列教材根据CCAR-66R1民用航空器维修人员执照基础部分考试大纲编写。这套系列教材共11本,内容覆盖了考试大纲的所有模块,具体每一本教材的适用专业和对应的考试大纲模块见下表:

序号	书名	适用专业	覆盖 CCAR-66R1 考试大纲模块
1	电工基础	ME、AV	M3
2	电子技术基础	AV	M4、M5
3	电子技术基础	ME	M4、M5
4	空气动力学和维护技术基础	ME、AV	M6、M8
5	人为因素和航空法规	ME、AV	M9、M10
6	涡轮发动机飞机结构与系统	ME-TA	M11
7	涡轮发动机飞机结构与系统	AV	M11、M14
8	直升机结构与系统	ME-TH、PH	M12
9	活塞发动机飞机结构与系统	ME-PA	M13
10	燃气涡轮发动机	ME-TA、TH	M14、M16
11	活塞发动机	ME-PA、PH	M15、M16

该系列教材力求通俗易懂,紧密联系民航实际,针对性强,适合于民航机务维修人员或有志进入民航维修业的人员培训或自学用教材,也可作为CCAR-147维修培训机构的基础培训教材或参考教材。

在这套教材的编写过程中，我们得到了中国民航总局飞标司、中国民用航空学院、广州民航职业技术学院、中国民用航空飞行学院、民航管理干部学院、民航上海中等专业学校、北京飞机维修工程有限公司（Ameco）、广州飞机维修工程有限公司（Gameco）、中信海洋直升机公司等单位以及航空器维修领域的 40 多位专家的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编写时间仓促和我们的水平有限，书中还存在着许多错误和不足，请各位专家和读者指出，以便再版时加以纠正。

《民用航空器维修基础系列教材》编委会

2006 年 2 月 10 日

前 言

《空气动力学和维护技术基础》教材是按照中国民航规章 CCAR - 66R1 《民用航空器维修人员执照管理规则》考试大纲 M8 和 M6 编写的。本教材主要是作为民航机务维修人员或有志进入民航维修业的人员培训或自学教材,也可作为 CCAR - 147 维修培训教材或参考教材。

本书分为上、下两篇。上篇《空气动力学基础》全面覆盖了 CCAR - 66R1 考试大纲的 M8 模块的内容,包括:大气物理学,空气动力学,飞行理论以及飞机的稳定性和操纵性。在编写过程中,力求做到言简意赅、深入浅出,尽量避免繁琐的理论公式推导,着重于清晰透彻的定性分析。这样,不但使本教材的内容符合民航机务维修人员对空气动力学基础知识的需求,也使民航机务人员能通过自学或培训理解和掌握。

下篇《维护技术基础》全面覆盖了 CCAR - 66R1 考试大纲的 M6 模块的内容,包括:航空材料、金属腐蚀和机体防腐措施、航空紧固件、弹簧、轴承和传动、飞机图纸规范与识图、飞机称重与平衡、无损检测方法、非正常事件、飞机地面操作和存放等内容。在编写过程中,力求做到所有内容尽量与目前我国民航机务维修人员的实际工作紧密结合,这样,通过学习,机务人员不但易于掌握教材中的内容,而且也能真正起到提高维修人员素质和业务水平的作用。

本教材各章编写人员如下:

上篇共四章,由李幼兰编写。

下篇共九章,第一、二、三、六、七章由李幼兰编写;第四章由赵景峰编写;第五章由李安、范保桂编写;第八章由邢忠庆编写;第九章由戴军编写。

在本教材编写过程中得到了中国民航学院任仁良教授的大力支持和帮助,由华克强教授、田秀云教授进行了审阅并提出了宝贵意见,在此一并表示衷心感谢。

限于编者水平和时间紧迫,缺点错误在所难免,恳请使用本书的师生和读者提出批评指正。

编者

2006 年 5 月 31 日

目 录

上篇 空气动力学基础

第1章 大气物理学	(3)
1.1 大气的重要物理参数	(3)
1.2 大气层的构造	(9)
1.3 国际标准大气 (ISA)	(10)
1.4 气象对飞行活动的影响	(12)
1.5 大气状况对飞机机体腐蚀的影响	(15)
第2章 空气动力学	(17)
2.1 流体流动的基本概念	(17)
2.2 流体流动的基本规律	(18)
2.3 机体几何外形和参数	(21)
2.4 作用在飞机上的空气动力	(25)
2.5 机翼表面积冰 (雪、霜) 对飞机飞行性能的影响	(41)
2.6 高速飞行的一些特点	(41)
第3章 飞行理论	(54)
3.1 飞机重心、机体坐标和飞机在空中运动的自由度	(54)
3.2 飞行时作用在飞机上的外载荷及其平衡方程	(55)
3.3 载荷系数	(57)
3.4 巡航飞行、起飞和着陆	(58)
3.5 水平转弯和侧滑	(63)
3.6 等速爬升和等速下滑	(65)
3.7 增升原理和增升装置	(66)
第4章 飞机的稳定性和操纵性	(73)
4.1 飞机运动参数	(73)

4.2	飞机稳定性和操纵性的基本概念	(74)
4.3	飞机的纵向稳定性	(77)
4.4	飞机的纵向操纵性	(82)
4.5	飞机的横侧向静稳定性	(85)
4.6	飞机的横侧向动稳定性	(88)
4.7	飞机的横侧向操纵性	(92)
4.8	飞机主操纵面上的附设装置	(98)
参考文献		(107)

下篇 维护技术基础

第1章	航空材料	(111)
1.1	金属材料的基本概述	(111)
1.2	碳钢和合金钢	(119)
1.3	有色金属	(127)
1.4	复合材料和非金属材料	(132)
第2章	金属腐蚀和机体防腐措施	(145)
2.1	金属腐蚀	(145)
2.2	腐蚀的处理和机体的防腐措施	(158)
第3章	航空紧固件	(165)
3.1	带螺纹的紧固件	(165)
3.2	铆钉	(182)
第4章	弹簧、轴承和传动	(193)
4.1	弹簧的类型、材料、性能及其应用	(193)
4.2	轴承的种类、材料、构造和应用	(196)
4.3	齿轮传动	(202)
4.4	带传动	(207)
4.5	链传动	(208)
第5章	飞机图纸规范与识图	(211)
5.1	投影及识图	(211)

5.2	飞机图纸的类型	(219)
5.3	飞机生产图纸	(226)
5.4	美国航空运输协会第 100 号规范 (ATA - 100)	(232)
5.5	飞机手册中各种图表的使用	(234)
第 6 章	飞机称重与平衡	(240)
6.1	飞机称重与平衡的目的和基本知识	(240)
6.2	飞机称重操作	(244)
6.3	装载后飞机重量和实用重心位置及极限状态的载荷与平衡	(246)
第 7 章	无损检测方法	(249)
7.1	目视检测法	(249)
7.2	超声波检测法	(251)
7.3	X 射线检测法	(254)
7.4	涡流检测法	(255)
7.5	磁粉检测法	(257)
7.6	渗透检测法	(260)
第 8 章	非正常事件	(263)
8.1	雷击检查	(263)
8.2	HIRF 穿透后的检查	(265)
8.3	重着陆检查	(266)
8.4	飞行经过严重紊流区的检查	(269)
第 9 章	飞机地面操作和存放	(270)
9.1	飞机的地面牵引	(270)
9.2	飞机的地面滑行	(272)
9.3	飞机的顶升	(274)
9.4	飞机的地面系留	(275)
9.5	飞机的地面停放方法	(279)
9.6	环境对飞机地面操作和工作的影响	(282)
9.7	飞机地面加油和放油程序	(283)
9.8	飞机的地面除冰/防冰程序	(286)
9.9	飞机的地面供电	(287)
9.10	飞机的地面供气	(288)

9.11 地面液压源的供给	(289)
---------------------	-------

参考文献	(290)
------------	-------

上篇 空气动力学基础

第 1 章 大气物理学

包围地球并随地球一起运转的空气层被称为大气层，简称为大气。飞机、直升机等航空器都在大气层中飞行，大气在与之有相对运动的航空器上产生空气动力，大气的状况又直接影响航空器发动机的工作性能和航空器中飞行人员的生活条件。因此，飞机、直升机等航空器的飞行是与大气层密切相关的。

1.1 大气的重要物理参数

大气是由多种气体混合而成，主要成分是氮气和氧气。按体积计算，氮气约占 78%，氧气约占 21%，余下 1% 是氩、二氧化碳、氦、氖、氪、氢等其他气体。除了气体之外，大气中还含有水蒸气和尘埃颗粒。

组成大气的各种气体分子都在不停地、无规则地（以不同的运动方向和运动速度）运动着，并产生相互碰撞。空气分子运动的动能以压力和热能的形式表现出来。

表示大气物理状态的物理参数主要是温度、压力和密度。另外，与航空器飞行有关的物理参数还有粘性、压缩性、湿度和音速等。

1.1.1 大气密度

大气密度是指单位体积内的空气质量，简单说就是空气稠密的程度。质量为 m 的空气，如果其体积为 V ，则密度为：

$$\rho = \frac{m}{V}$$

在国际单位制中，密度的单位是 kg/m^3 。空气的密度大，说明单位体积内的空气分子多，比较稠密；空气的密度小，说明单位体积内的空气分子少，比较稀薄。

由于地心引力的作用，大气的密度随高度的增加而减小，近似按指数曲线变化。在 22 000 ft (6 700 m) 高度，大气密度仅为海平面大气密度的一半如图 1-1 所示。

1.1.2 大气温度

大气温度是指大气层内空气的冷热程度。温度的高低表明了空气分子不规则热运动平均速度的大小。分子运动速度大，即分子的平均动能大，则大气的温度高；分子运动速度小，

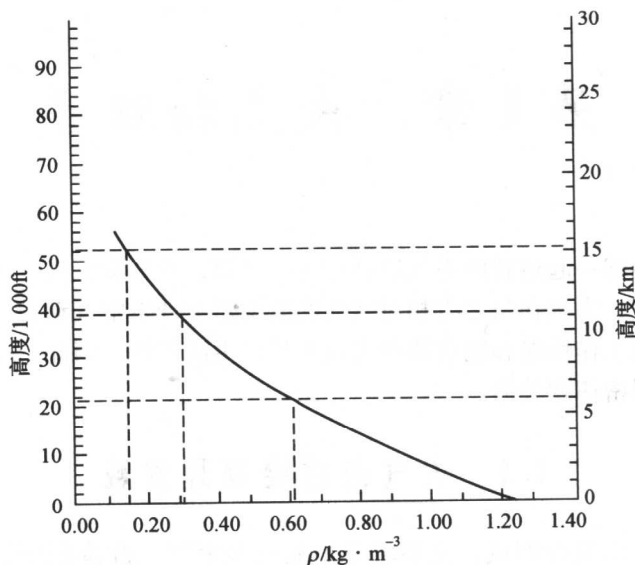


图 1-1 大气密度随高度的变化

即分子的平均动能小，则大气的温度低。

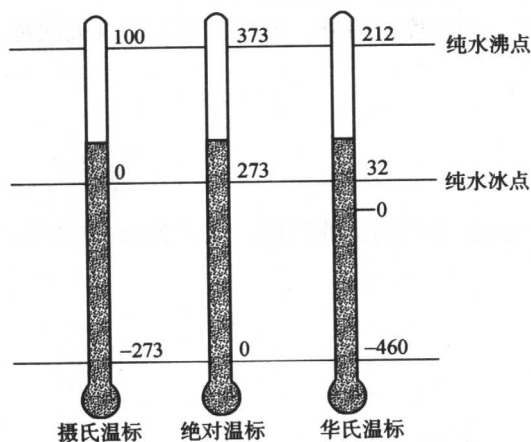


图 1-2 度量大气温度的温标

度量温度的单位有：摄氏温度 ($^{\circ}\text{C}$)、华氏温度 ($^{\circ}\text{F}$) 和绝对温度 ($^{\circ}\text{K}$) 如表 1-1 所示。摄氏温标将一个标准大气压下 (101.325 kPa) 纯水的冰点定为 0°C ，并将纯水的冰点和沸点之间等分为 100 格。华氏温标将一个标准大气压下纯水的冰点定为 32° ，并将纯水的冰点和沸点之间等分为 180 格。绝对温标是将气体分子停止不规则热运动时，即分子运动速度为零时的温度作为零度，温度间隔也是将一个标准大气压下纯水的冰点和沸点之间等分为 100 格。科学研究表明，绝对温度的零度相当于 -273°C (见图 1-2)。这三种温度单位的换算关系可表示为：

$$T_{\text{C}} = (T_{\text{F}} - 32) \times \frac{5}{9}$$

$$T_{\text{K}} = T_{\text{C}} + 273.15$$

在大约 11 km 高度以下的大气层内，随着高度的增加，大气温度下降，近似按线性变化。

表 1-1 度量温度的单位

	摄氏温度/℃	华氏温度/°F	绝对温度/K
在标准大气压下, 纯水的沸点	100	212	373. 15
在标准大气压下, 纯水的冰点	0	32	273. 15

1.1.3 大气压力

大气压力是指大气层内空气的压强, 即物体单位面积上承受的空气的垂直作用力。空气对物体表面产生压力的原因有两个: 一个是上层空气的重力对下层空气造成了压力。例如某一高度上空气的压力就是这高度以上的空气柱重力作用的结果。所以在垂直方向上, 越向上空气柱越短, 空气压力就越低。另一个原因是空气分子不规则的热运动。由于空气分子不规则的热运动使空气分子彼此间互相碰撞, 或对容器壁碰撞而产生压力。所以在同一个高度上, 由于空气温度不同, 空气的压力也是不均匀的。

度量大气压力的单位有: 毫米汞柱 (mmHg)、帕 (Pa ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$))、每平方英寸磅 (psi)、每平方厘米千克力 (kgf/cm^2) 等, 其中, 帕 (Pa) 为国际计量单位。

因为大气压力随高度和温度变化, 所以规定在海平面温度为 15°C 时的大气压力为一个标准大气压, 表示为: 29.92 inHg、760 mmHg、1 013.25 hPa、14.6959 psi (pound/inch²)、1.033 23 kgf/cm^2 。大气压强随高度的变化如图 1-3 所示。

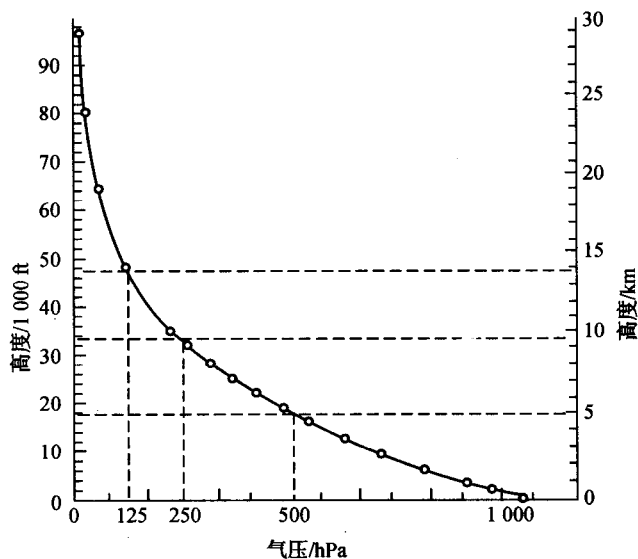


图 1-3 大气压强随高度的变化

1.1.4 粘性

粘性是流体固有的属性。当流体内两相邻流层的流速不同时，或流体与物体间发生相对运动时，两个流层接触面上或流体和物体接触面上便产生相互粘滞和相互牵扯的力，这种特性就是流体的粘性。

大气的粘性比较小，不容易被觉察，但对航空器飞行的影响却不能忽略。大气的粘性主要是由于大气中各种气体分子不规则运动造成的。气体分子的不规则运动使各层的气体分子可以互相交换，当相邻两层气体之间有相对运动时，这种交换会带来动量的交换，从而产生相互牵扯的作用力，这种作用力就是大气的粘性力，或称作大气的内摩擦力。

实验表明：流体的粘性力与相邻流层的速度差 $\Delta v = v_1 - v_2$ 、接触面的面积 ΔS 成正比，和相邻流层的距离 Δy 成反比（见图1-4），即：

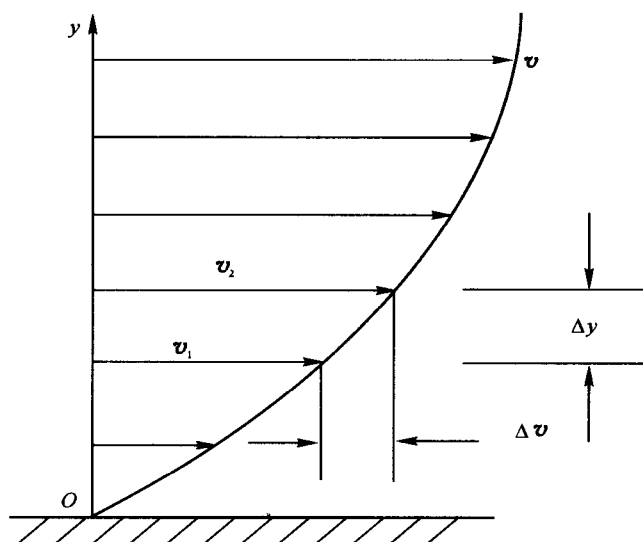


图 1-4 速度 v 的分布

$$F = \mu (\Delta v / \Delta y) \cdot \Delta S$$

式中： F ——流体的粘性力；

$\Delta v / \Delta y$ ——在流层的垂直方向上，每单位长度速度变化量，叫做横向速度梯度；

ΔS ——接触面的面积；

μ ——横向速度梯度为 1 时，在流层单位接触面上产生的粘性力，称为流体的粘度系数（动力粘度系数），可作为度量流体粘性的指标，单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ （帕·秒）。

不同的流体具有不同的粘度系数，同一流体的粘度系数又随温度而变化：气体的粘度系数随温度升高而增大；液体的粘度系数随温度升高而减小，气体和液体具有完全不同的粘性特性如图 1-5 所示。

当大气流过物体时，只有紧贴物体表面的气流层中横向速度梯度较大，粘性力比较大，空气的粘性表现得比较明显。在离开物体表面较远的外部区域，气流层中横向速度梯度很