

飞行技术基础

林国梁 编

广州民航职业技术学院

目 录

绪 论	1
第一章 大气的一般介绍和气流特性	3
第一节 大气和国际标准大气	3
一、空气的密度、温度和压力	3
二、大气分层	6
三、国际标准大气	7
第二节 气流特性	8
一、气流和相对气流	8
二、流场、流线、流管和流线谱	8
三、空气流动的基本规律	11
四、空气的粘性	14
五、附面层	15
第二章 飞机的升阻特性	17
第一节 飞机的简介	17
一、飞机的主要组成部分及其功用	17
二、机翼的形状	18
第二节 升力	22
一、总空气动力	22
二、机翼升力的产生	23
三、影响升力大小的因素	24
四、升力系数曲线	26
第三节 飞机的阻力	26
一、飞机的阻力	26
二、影响阻力大小的因素	30
三、阻力系数曲线	32
第四节 全机的空气动力特性和增升装置	32
一、飞机的空气动力特性	32
二、飞机的增升装置	34
第三章 高速飞行的基本特点	39
第一节 高速气流特性	39
一、空气的压缩性	39

二、影响空气压缩性的因素	39
三、音波、音速、马赫数	40
四、超音速气流的加速性	41
五、弱扰动波在气流中的传播	42
第二节 激 波	44
一、什么是激波	44
二、激波的种类	44
三、临界 M 数和飞机机翼局部激波	45
四、机翼局部激波的形成	46
第三节 高速飞行中飞机的阻力	46
一、激波阻力	46
二、使用维护情况对波阻的影响	48
第四节 高速飞机的空气动力外形特点	48
一、高速飞机的翼型特点	48
二、高速飞机机翼的平面形状	50
三、机身	52
四、尾翼	52
第四章 飞机的基本飞行性能	54
第一节 平飞性能	54
一、平直飞行条件	54
二、平飞所需速度	54
三、平飞需用推力和发动机可用推力	55
四、平飞推力曲线图	57
五、高度、气温、飞机重量对平飞性能的影响	59
第二节 上升和下滑性能	61
一、上升性能	61
二、下滑性能	63
第三节 飞机的起飞和着陆性能	65
一、起飞性能	65
二、着陆性能	66
第四节 飞机的续航性能	67
一、平飞航时	68
二、平飞航程	68
第五节 正常盘旋	70
一、正常盘旋的条件	70
二、盘旋中的载荷系数	71
第六节 维护质量对飞行性能的影响	72

一、机体维护质量的影响	72
二、发动机维护质量的影响	72
第五章 飞机的平衡、稳定性和操纵性	75
第一节 预备知识	75
一、飞机的重心	75
二、飞机的转动轴	76
三、飞机的焦点	77
第二节 飞机的平衡	78
一、飞机的俯仰平衡	78
二、飞机的方向平衡	80
三、飞机的横向平衡	82
第三节 飞机的稳定性	83
一、稳定性概念	83
二、飞机的俯仰稳定性	84
三、飞机的横侧稳定性	85
第四节 飞机的操纵性	91
一、飞机的俯仰操纵性	92
二、飞机的横侧操纵性	96
第六章 螺旋桨空气动力简介	100
第一节 螺旋桨的运动和桨叶迎角的变化	100
一、螺旋桨的构造及其参数	100
二、螺旋桨的运动	101
三、桨叶迎角的变化	101
四、桨叶负扭转问题	103
第二节 螺旋桨拉力和旋转阻力矩	103
一、螺旋桨拉力和旋转阻力矩的产生	103
二、影响螺旋桨拉力和旋转阻力矩的因素	105
第三节 螺旋桨的变矩和自转	106
一、螺旋桨的变矩作用和种类	106
二、螺旋桨的自转	107
第四节 螺旋桨飞机平飞性能特点	108
一、螺旋桨的有效功率	108
二、螺旋桨的效率	110
三、螺旋桨飞机的平飞性能	112
第五节 螺旋桨的振动	113
一、螺旋桨振动的原因	114

二、处置螺旋桨振动的方法	114
三、预防螺旋桨振动的基本方法	115
第七章 直升机飞行原理	116
第一节 直升机的特点和分类	116
一、直升机的特点和用途	116
二、直升机的分类	116
三、单旋翼带尾桨直升机主要组成部分	118
第二节 直升机的飞行原理	119
一、旋翼的拉力及其影响因素	119
二、直升机前飞时旋翼的横侧不平衡力矩与桨叶的周期挥舞	120
三、直升机操纵的基本原理	124
四、直升机需用功率和可用功率	127
第三节 直升机几个特殊问题	129
一、直升机地面效应	129
二、直升机旋翼自转	130
三、直升机的“地面共振”	131

绪 论

飞行原理主要是研究飞行器在空中运动的规律,并运用这些规律来指导飞行和维护的一门学科。

飞行器是指所有能离开地面,在大气层内或宇宙空间飞行器械的总称。按不同的飞行环境和飞行原理,飞行器可分为三大类:航空器、航天器、火箭和导弹。在大气层内飞行的飞行器称为航空器,如气球、飞艇、飞机、直升机等,它们均靠空气的静力或与空气相对运动所产生的空气动力而升空飞行。根据产生向上力的基本原理不同,航空器分为两大类:轻于空气的航空器和重于空气的航空器,前者靠空气静力升空,后者靠空气动力克服自身重量升空。在大气层外空间的飞行器称为航天器,如人造卫星,航天飞机等,它们是在运载火箭的推动下获得必要的速度而进入空间飞行轨道的。火箭是指以火箭发动机为动力的飞行器,它可以在大气层内外飞行,既不靠空气静力,也不靠空气动力,而是靠火箭发动机的推力升空飞行。

由于这些飞行器的空气运动规律各有区别,因此飞行原理也分为轻于空气的航空器的飞行原理,重于空气的航空器的飞行原理和宇宙飞行动力学。

近百年来,随着社会生产力的提高和科学技术的发展,人类揭开了航空发展的史页,随着轻于空气的航空器(气球),重于空气的航空器(飞机)和宇宙飞行器(宇宙飞船)相继出现,飞行原理也相应有了很大的发展,从而促进空气静力学,空气动力学和宇宙飞行动力学的形成和发展。

空气静力学从研究空气静力的产生和变化着手,来研究这类飞行器在空中运动的规律。目前由于这类飞行器很少应用,其飞行原理业已退居次要地位。

重于空气的飞行器是以空气动力学为基础的。空气动力学的发展,大体可以划分为三个时期。从古代到本世纪初为流体动力学的发展时期,也是空气动力学的启蒙和创始时期。这个时期,瑞士科学家丹尼尔·伯努利揭示了流体中压力和速度的关系,成为流体动力学的一个基本规律(后被称为伯努利定律)。为空气动力学的建立奠定了基础,也为重于空气的航空器的出现提供了理论准备;从本世纪初到三、四十年代,由于蒸气机和内燃机的先后出现,为航空器由滑翔机向飞机的发展创造了动力条件,随后,对活塞式发动机飞机的研究日益深入,使空气动力学的研究有了很大进展,在升力、阻力理论,稳定性,操纵性及飞行力学方面的研究都更加深入和系统,成为研究低速飞行和发展基本理论的阶段;随着1939年喷气式飞机的问世,很快突破了活塞式飞机的速度纪录而接近音速,飞行原理也进入了高速飞行研究的阶段。高速飞行时“激波”问题从理论到实践的解决以及高速空气动力学关于后掠翼理论的发展,薄翼理论的研究等等都为实现跨音速和超音速飞行,起了重大的促进作用,从而促进了高速空气动力学的发展。

与此同时,随着宇宙飞行器的出现,促进了宇宙飞行动力学的形成和发展,将航天器和飞行原理的发展推向一个新阶段。

本“飞行原理”教材主要是介绍重于空气的航空器(飞机,直升机)的飞行原理,主要解决(1)飞机(直升机)为什么能飞,(2)如何操纵飞机(直升机)更好地飞行。

因此,“飞行原理”着重研究下列几个问题:

- 1、飞机升力、阻力、拉力的产生和变化。
- 2、作用在飞机上的升力,阻力和重力与飞机飞行轨迹以及与飞行状态的关系。
- 3、飞机飞行性能(如能飞多高,多快,多远),以及如何发挥飞行性能。
- 4、如何操纵飞机实现各种飞行。
- 5、直升机的基本空气动力学原理。

本教材共分七章,第一章主要介绍大气的一般情况和流体流动规律及特性;第二章介绍飞机的升阻特性,主要阐述低速飞行时,飞机升力、阻力产生的原理和变化规律;第三章介绍高速飞行的基本特点;第四章介绍飞机的基本飞行性能,也就是有关飞机能飞多快,多高,多远,多久的问题;第五章阐述飞机的平衡,稳定性和操纵性的一些基本概念;第六章简要介绍螺旋桨空气动力学知识;第七章介绍直升机的空气动力学特点,使学生了解飞机和直升机在空气动力上的不同特点。

本教材主要对象是技工学校飞机及发动机维护专业学生。在叙述上力求通俗易懂,尽量从物理意义上阐明问题。学生学习“飞行原理”的目的在于了解空气动力的产生和变化,懂得飞机在空中飞行的规律性,正确认识维护质量与飞机性能之间的密切关系,为做好维护工作,确保维护质量提供理论基础。

为了学好“飞行原理”这门课程,学生在学习要做到下列几点:

1、抓住本课程的重点

本课程重点有以下几部分:① 空气动力学基础特别是低速和亚音速空气动力学基础
② 飞机飞行性能③ 飞机的平衡、稳定性和操纵性。

2、从物理概念入手,加深对定理、定律的理解认识和应用。

3、应从原理引伸到应用,注意落脚到维护使用,力求学用一致。

第一章 大气的一般介绍和气流特性

包围地球的空气层叫做“大气层”或大气。飞机是重于空气的飞行器。当飞机在大气中飞行与空气有相对运动时,就会产生作用于飞机的空气动力即产生升力和阻力。要研究和了解升力和阻力产生的原因及变化规律,就有必要先了解有关大气的基本知识、气流的运动规律和特性。

第一节 大气和国际标准大气

一、空气的密度、温度和压力

空气的密度、温度和压力,是确定空气状态的三个主要参数。飞行中,飞机的空气动力的大小和飞行性能的好坏,都与这三个参数有关。

(一)空气密度(ρ)

空气密度是指单位体积内的空气质量。质量为 m 的物体,如果其体积为 V ,则密度为:

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

密度的工程单位是(公斤·秒²/米³)。在国际单位制中,单位是(千克/米³)。

空气密度大,说明单位体积内的空气分子多,比较稠密;反之,空气密度小,说明空气比较稀薄。

(二)空气温度(t)

空气温度是指空气的冷热程度。空气温度的高低,实质上表明了空气分子作不规则热运动平均速度的大小。比如一团空气的分子如得到能量,分子运动的平均速度加大,即分子的平均动能变大,则温度升高;反之,空气分子失去能量,分子运动的平均速度减小,即分子的平均动能变小,则空气温度降低。

气温的高低,可用温度表来测量。我国和大多数国家,常用摄氏(C)温度来表示,单位是摄氏度(°C)。少数国家和地区用华氏(F)温度来表示,单位是华氏度(°F)。摄氏温度(C)和华氏温度(F),可用下式换算:

$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

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

例:摄氏 0°C 相当于华氏 32°F

在理论计算中,常使用绝对温度的概念。当空气分子停止不规则的热运动时,即分子的运动速度为零时,我们把此时的温度作为绝对温度的零度。绝对温度用开氏度(K)表示,绝对温度的零度相当于摄氏-273度。绝对温度(T)和摄氏温度(t)可用下式换算:

$$T = t + 273$$

(三)空气压力(P)

空气压力(或称气压)是指空气的压强,即物体单位面积上所承受的空气的垂直作用力。

气压是怎样产生的呢？按照气体分子运动理论，大量高速运动着的分子，连续不断地撞击物体表面，这种空气分子对物体的撞击作用即表现为大气对该物体表面所施的压力。在空气密度大，分子平均运动速度大的地方，这种撞击作用就大，气压也就大；反之，在空气密度小，分子平均运动速度小的地方，这种撞击作用就小，气压也就小。又由于在每一团空气中，空气分子都是向四面八方作不规则运动的，故空气压力也是向四面八方作用，而且相等。

在静止的大气中，不论那一处的空气，都没有沿垂直方向的运动，这表明任何一处的空气，所受的垂直方向的力都是平衡的。即是说，静止大气中每一处的气压（如图 1-1 中的 P 和 P_H ），都与该处上空的大气柱的重量（如图 1-1 中的 G 和 G_H ）平衡，因此，从数量上来说，所谓大气压力也就是物体单位面积上所承受的大气柱的重量。

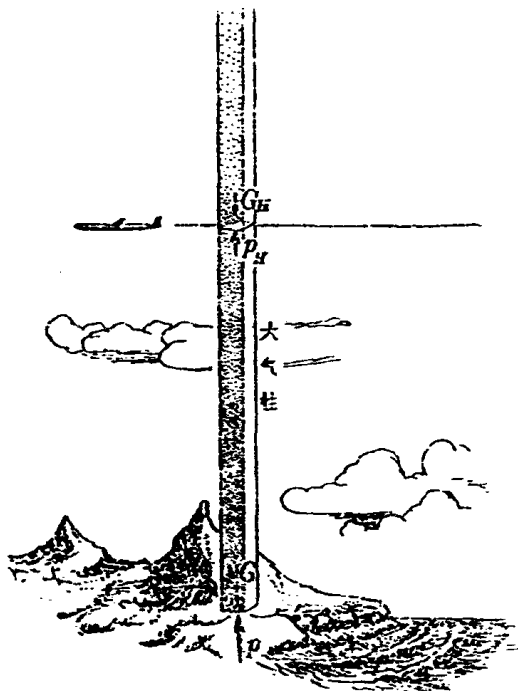


图 1-1 气压示意图

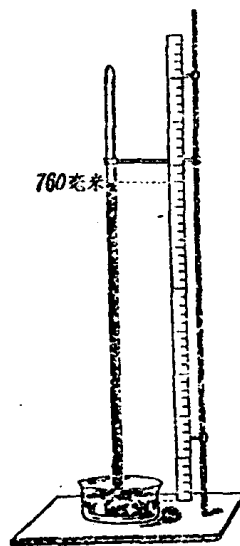


图 1-2 测量气压的水银柱

在工程上，是以每平方米或平方厘米面积上承受多少力作为压力单位（即公斤/米² 或公斤/厘米²）。在国际单位制中，单位是帕斯卡（牛顿/米²）。通常把数值等于 10.13×10^4 （牛顿/米²）的气压，叫做一个大气压。

气压大小，还可以用水银柱的高度来表示，单位是毫米水银柱高（mmHg），简称毫米（mm）。当气温 15℃ 时，在海平面一个标准大气压，相当于 760 毫米水银柱，也等于 10.13 牛顿/厘米²。（图 1-2）

（四）空气密度、温度、压力三者的关系

一切客观事物本身是互相联系和具有内部规律的，空气的三个状态参数（密度、温度和

压力)之间,也是互相联系和具有一定规律的。

1、空气密度与温度的关系

瘪了的乒乓球放在热水里一烫,又会鼓圆起来,这表明一定质量的空气,如果保持压力不变,当温度增高时,会引起空气膨胀,体积变大,使密度减小;相反,温度降低时,空气体积变小,密度增大。

2、空气压力和温度的关系

一定质量的气体,如保持体积(或密度)不变,温度升高时,压力会增大,比如炎热的夏天,打足了气的自行车车胎容易爆破;又如外场规定,冷气瓶充满压缩空气后,不能曝晒,以防爆炸,就是这个道理。

3、空气密度与压力的关系

用力压皮球,皮球会瘪下去,这表明一定质量的空气,如保持温度不变,当压力增大时,会使体积缩小,密度增大;相反,压力减少时,密度也随之减少。

4、气体状态方程式

气体压力、密度、温度三者间的变化关系,可以用气体状态方程式(简称气态方程式)表示,即:

$$p = \rho RT \dots\dots\dots (1-1)$$

式中:

P ——空气压力(牛顿/米²)

ρ ——空气密度(千克/米³)

R ——气体常数。其含义是指在等压情况下,温度升高 1K 时,1 千克气体膨胀所做的功。空气的气体常数 $R = 287.06$ (焦/千克·度)。

T ——气体的绝对温度(·K)

如果知道气体的两个参数大小,根据气态方程式,可求出第三个参数值,例如已知在海平面上 $\rho = 1.225$ 千克/米³, $R = 287.06$ 焦/千克·度, $T = 273 + 15 = 288K$

则可求得:

$$P = 1.225 \times 287.06 \times 288 = 101274 \text{ 焦耳/米}^3 = 101274 \text{ 牛顿/米}^2 = 10.1274 \text{ 牛顿/厘米}^2$$

气体状态方程式又称理想气体方程式。严格说来,它只有在分子本身没有体积和分子间没有引力情况下,才是准确的。这样的气体叫做理想气体。但在一般情况下(如温度不太低,压力不太高)应用气体状态方程式是可行的。

(五)、气温、气压和密度随高度的变化

在 11000 米以下,高度升高,气温下降。气温降低数值,随地区、季节、高度不同而异。就平均而言,高度每升高 1000 米,气温降低约 6.5℃。

在大气中,任何一处气压,都和该高度上空的大气柱重量相等,高度升高,大气柱变短,重量减轻,故随高度升高气压减小。

高度升高,空气密度下降。这是因为随着高度升高,气温降低会使空气密度增大,而高度升高,气压降低又使空气密度减小。但由于气温降低的百分比小,而气压降低的百分比却要大得多,故高度升高,空气密度减小。

气温、气压和密度随高度的这种变化关系,对飞行有很大影响。如飞机之所以只能飞到

一定高度,主要是空气密度减小,发动机功率减小的结果。又如高空飞行,空气稀薄,气压小,对人的生活工作有影响,因此高空飞行的飞机,座舱要密封增压,而且装有氧气设备,以保证飞行人员和旅客的健康与安全。

二、大气分层

包围着地球的空气层叫做大气。根据不同气象条件和气温变化等特征,可以把大气分成若干层。如以气温变化为基础,则可将整个大气分为对流层、平流层(同温层)、中间层、电离层和散逸层等五层,如(图 1—3)所示。

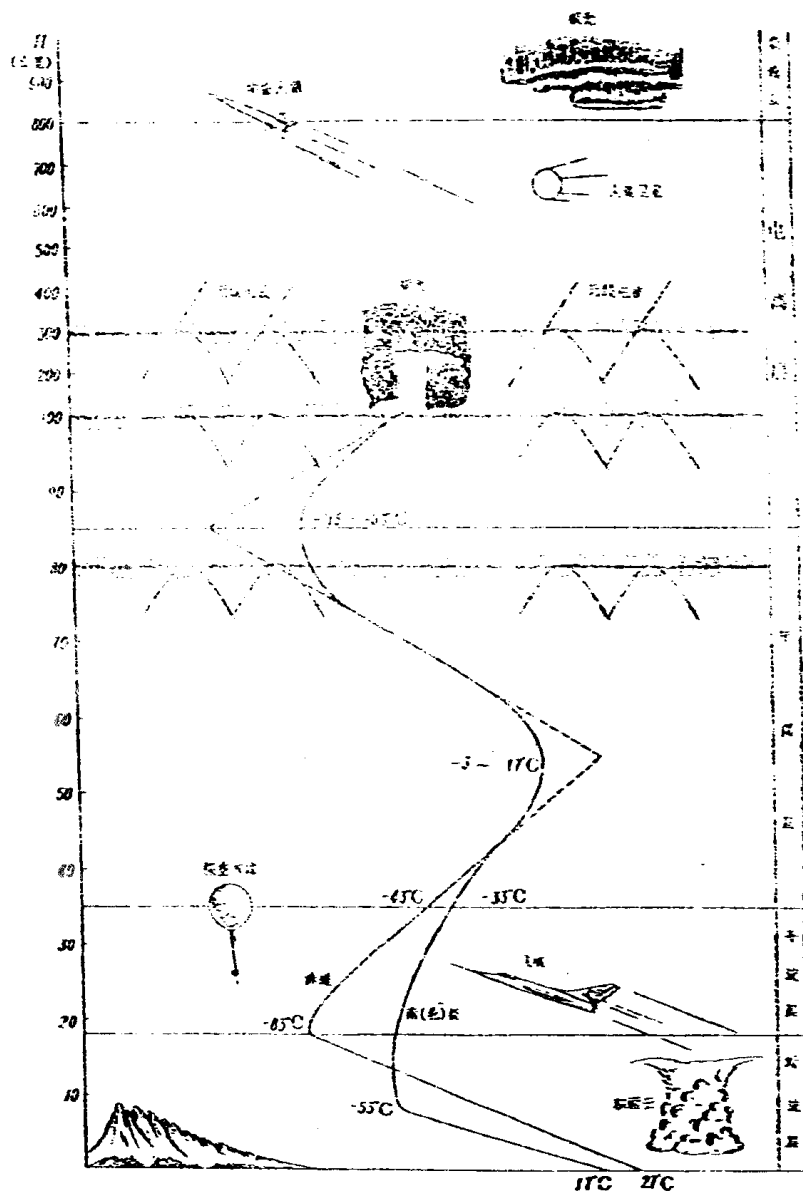


图 1—3 大气分层示意图

(一)对流层

对流层是接近地球表面的一层,它的底界是地面,顶界则随纬度、季节等情况而变化。根据观测,对流层顶的高度,就纬度而言,在赤道地区平均为 17—18 公里,在中纬度地区平均为 10—12 公里;在南、北极地区平均为 8—9 公里。例如在广州地区,对流层层顶平均高约

16 公里,而在东北地区则降低为 10 公里左右。就季节而言,对流层顶高夏季高于冬季。

对流层有以下特点:

1、气温随高度升高而降低。

在对流层中,由于空气受热的直接来源不是太阳,而是地面。太阳放射出的能量,大部分被地面吸收,空气是被太阳晒热的地面而烤热的,所以越靠近地面,空气温度就越高。

2、风向,风速经常变化。

由于太阳对地面照射情况不一,加之地形地貌不同,因而地面各地区空气气温和密度均不相同,气压也不相等。即使同一地区,气温、气压也常会发生变化,使大气产生对流现象,形成风。且风向、风速也会经常改变。

3、空气上下对流激烈。

地面各处的温度不同,受热多的空气因膨胀而上升,受热小的空气因冷却而下降,就形成空气上下对流。

4、有云、雨、雾、雪等天气现象。

海洋江河的水由于太阳照射而不断蒸发,使大气中常常聚集着各种形态的水蒸气,这就有雨、雪、雾和冰雹等气象现象。

由于对流层具有上述特点,会给飞行带来很大影响。例如,在高空飞行时,气温低,容易引起飞机结冰;温度变化还会引起飞机各金属部件收缩,改变机件间隙,甚至影响飞机正常工作;上下对流空气会使飞机颠簸,既不利于操纵,又使飞机受力增大。因此工程机务人员应善于根据天气和温度变化特点,做好飞机维护工作,保证飞行安全。

(二)平流层

平流层位于对流层顶的上面,其顶界由地面伸展到 35—40 公里。由于这一层受地球表面影响较小,所以气温基本上保持不变,大约为 -56.5°C ,故又称同温层。

平流层中,几乎没有水蒸气,所以没有雪、雾、云等气象现象;且空气比较稀薄,风向稳定,空气主要是水平流动。

(三)中间层

中间层在平流层之上,顶端离地面大约 80 到 100 公里,其特点是:随高度增加,气温先增加,然后降低,到 55 公里高度附近,气温由 -43°C — -33°C 增加到 -3°C — -17°C 左右,随后,高度增加,气温又开始下降,降到 -83°C 以下。有水平方向的风,且风速相当大,在 60 公里高度,风速可达 140 米/秒。

(四)电离层

电离层位于中间层以上,上界离地面约 800 公里,其特点是:高度升高,气温迅速上升,并且空气具有很大的导电性,故称电离层。由于温度较高,故又称暖层。

(五)散逸层

这是大气的最外层,该层内常有一些气体向星际空间散逸,故称散逸层,据推算,散逸层离地球表面约 2000—3000 公里。

三、国际标准大气

飞机的飞行性能,与大气状态(温度、气压、密度等)密切相关。而大气状态是瞬息多变的,为了便于比较飞机的飞行性能,就必须以一定的大气状态作为衡量标准。国际航空协会参照中纬度地区(北纬 35° — 60° 之间)大气状态的平均值,订出了大气的状态数值,处于这种状态下的大气,叫国际标准大气。

国际标准大气主要规定如下:

1、以海平面的高度为零。在海平面,空气的标准状态是:

气压 $P_0 = 10.13$ 牛顿/厘米²

气温 $t_0 = 15^{\circ}\text{C}$

密度 $\rho_0 = 1.225$ 千克/米³

2、在 11 公里以下,高度每升高 1000 米,气温降低 6.5°C ;从 11 公里起到 25 公里,气温是一个常数,为 -56.5°C ;25 公里以上,高度升高,气温再上升。

3、气压、空气密度和气温随高度的变化如(图 1-4)所示。为了便于使用,通常把不同高度的标准大气状态参数列成表格,叫做标准大气表,(见表 1-1)。

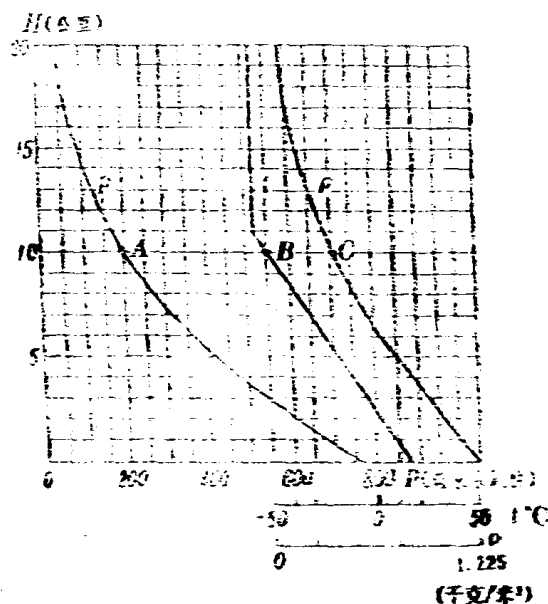


图 1-4 标准大气的气压、气温和空气密度随高度的变化

第二节 气流特性

在研究飞机升力和阻力产生及变化之前,必须先研究空气流动的特性,即空气流动的基本规律。

一、气流和相对气流

空气的流动就是气流。有风的时候,我们会感到有空气作用在身上,无风的时候,如果骑自行车飞跑,同样会感到有空气的力量作用在身上。这两种情况,前一种是空气流动,物体不动。后一种是空气静止,物体运动,这虽然是两种不同的现象,物体却同样会受到空气动力的作用。空气相对于物体的流动就是相对气流。试验证明,只要空气与物体之间的相对速度相同,即相对气流速度相同,所产生的空气动力也相同。根据这个道理,在分析飞机空气动力问题时,可以让飞机不动,让气流以等于飞机运动速度流过飞机。这同实际飞行时飞机在静止空气中运动,现象上尽管有所不同,但实质上空气动力的产生和变化却完全一样。这样给我们研究问题,带来很大方便。目前,研究飞机气动力问题时所使用的风洞实验,就是根据这个原理建立起来的。

二、流场、流线、流管和流线谱

空气的流动,有稳定流动和不稳定流动两种,我们把空气经过空间各点上的参数不随时间而改变的流动称为稳定流动,把空气流动时,空间各点上的参数随时间而改变的流动称为

表1-1 国际标准大气压

高 度 (米)	气 压 (毫米水银柱)	气 温 t ($^{\circ}\text{C}$)	空气密度 ρ (千克/米 ³)	音 速 a (米/秒)
-1000	854.6	+21.50	1.346	345
0	760.0	+15.00	1.225	341
1000	674.1	+8.50	1.111	337
2000	596.1	+2.00	1.006	333
3000	525.7	-4.50	0.909	329
4000	462.2	-11.00	0.818	325
5000	405.0	-17.50	0.736	321
6000	353.8	-24.00	0.658	317
7000	307.8	-30.50	0.589	313
8000	266.9	-37.00	0.524	309
9000	230.5	-43.50	0.466	304
10000	198.3	-50.00	0.413	300
11000	169.6	-56.50	0.364	296
12000	144.8	-56.50	0.312	296
13000	123.7	-56.50	0.266	296
14000	105.6	-56.50	0.226	296
15000	90.4	-56.50	0.194	296
16000	77.1	-56.50	0.166	296
17000	65.8	-56.50	0.141	296
18000	56.2	-56.50	0.121	296
19000	48.0	-56.50	0.103	296
20000	41.0	-56.50	0.088	296
21000	35.02	-56.50	0.075	296
22000	29.90	-56.50	0.0641	296
23000	25.54	-56.50	0.0548	296
24000	21.81	-56.50	0.0468	296
25000	18.63	-56.50	0.0399	296
26000	15.94	-53.50	0.0337	297
27000	13.69	-50.60	0.0285	299
28000	11.79	-47.60	0.0243	301
29000	10.16	-44.60	0.0206	303
30000	8.77	-41.60	0.0176	305

不稳定流动,下面的讨论均假定空气的流动为稳定流动。

空气流过物体时,要产生空气动力。流过物体时的情况不同,产生的空气动力也就不同。空气流过一个物体的情况到底怎样呢?可以通过风洞实验来观察。

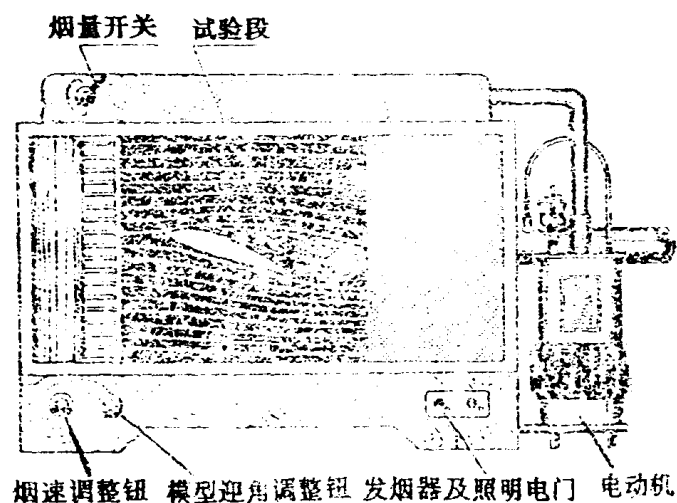


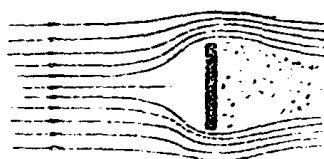
图 1—5 烟风洞实验

(图 1—5)为一个烟风洞,当我们扳动电门,使电机转动后,一根根烟流连续不断地流过物体,将空气流过物体的情况形象地显示出来。

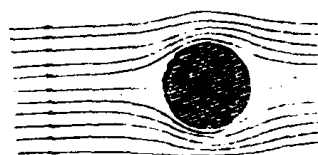
我们把一个充满着流动流体的空间或区域(如烟风洞中的试验段)称为流场。

在烟风洞试验中,可以看到空气微团绕机翼稳定流动的情况。所谓流线,就是空气微团流动的路线。由许多流线所组成的流动图形我们称做流线谱。

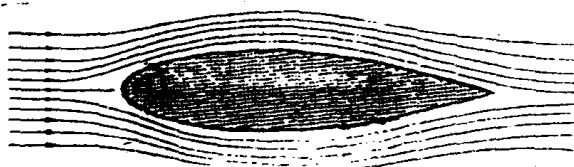
既然空气是沿着流管流动的,因此,空气不会从一根流线跑到另一根流线上。所以我们把由流线组成的管子叫做流管。



直立平板的流线谱



圆柱体的流线谱



流线体的流线谱



斜立平板的流线谱

图 1—6 几种物体的流线谱

(图 1—6)是从烟风洞实验中描绘出来的几个典型物体的流线谱。

比较上面几种流线谱,我们可以看到:

- 1、物体形状不同,流线谱就不同。
- 2、即使是物体的形状相同,空气流过物体的相对位置不同,流线谱也就不同。
- 3、空气流向物体受到阻挡时,流管就扩张变粗;空气流过物体外凸地方时,流管就要收缩变细。
- 4、空气流过物体时,在物体后部要形成一定涡流区。

三、空气流动的基本规律

空气的流动规律是指空气流动时,温度、压力、密度和速度等变化的规律及其相互关系。

(一)连续性定理——气流流速、密度和流管切面积的关系。

1. 基本概念

观察稳定流动的河水,我们发现:流经各处的水流速度是不相同的,在河面宽的地方,水流很慢;河面窄的地方,水流很快。气流也有这种特性,如门洞里的风比院子里的大,这说明气流速度大小与过道的宽窄有关。流速和流体切面积这种关系,是气流的连续性特性所致。气流的连续性定理是:当流体连续不断地、稳定地流过一个粗细不等的管子时,由于管子中任一部分的流体都不能中断或积压起来,因此在同一时间内,流进任一切面的流体质量和从另一切面流出的流体质量应该相等。

气流连续性原理是质量守恒定律在空气流动过程中的应用。

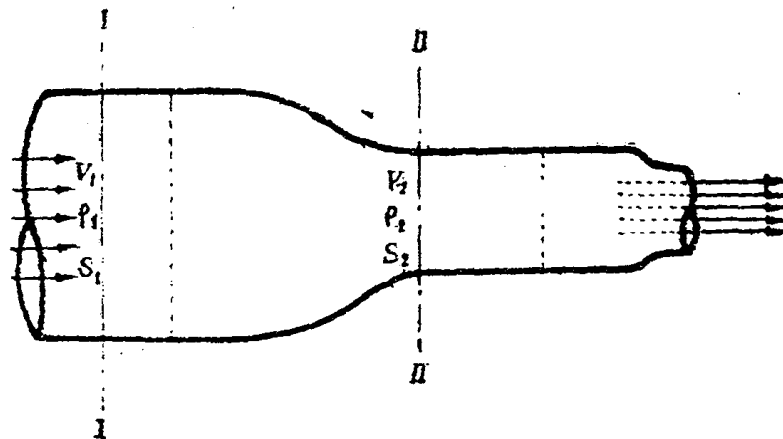


图 1—7 流速与流管切面积的关系

2. 连续性方程的推导

当气流稳定而连续地流过一个横切面积不同的流管时(见图 1—7),根据质量守恒定律,在单位时间内流过各切面的空气质量应该相等。设单位时间流过 I—I 切面的空气质量分别为 m_1 和 m_2 ,则应:

$$m_1 = m_2 \dots \dots \dots (1-2)$$

设 ρ_1 、 V_1 、 S_1 、 ρ_2 、 V_2 、 S_2 分别为切面 I—I 和切面 II—II 处的气流密度、速度和切面积,

则有:

$$m_1 = \rho_1 V_1 S_1$$

$$m_2 = \rho_2 V_2 S_2$$

代入(1-2)式得:

$$\rho_1 V_1 S_1 = \rho_2 V_2 S_2 = \text{常数} \dots \dots \dots (1-3)$$

式(1-3)就是连续性方程的表达式。它说明:在稳定流动的情况下,单位时间内通过同一流管中不同切面的空气质量相等,反映了 ρ, V, S 的相互关系:

低速时,密度 ρ 是一个常数,所以:

$$VS = \text{常数} \dots \dots \dots (1-4)$$

上式表明:低速流动时,在同一流管的任一切面上,流速和流管横切面积成反比,随着流管切面积的减少,流速要加快,反之,随着流管的扩散,流速要减慢。

(二)伯努利定理——气流中压力随速度变化规律。

1、基本概念

当我们用咀向两张并列的纸片中间吹气时,纸片便会向中间靠拢。这说明在吹气时,两张纸片中间的气流速度大,压力变小,纸片外边压力推使纸片向中间靠拢。这种现象,反映了流体的一个规律:流体流速大的地方压力小,流速小的地方压力大。这就是流速与压力的关系,也就是伯努利定理。

伯努利定理是能量守恒定律在流体力学中的推广应用。在低速流动空气中,参与转换的能量有两种:动能和压力能。气流一流动,就有动能,流动速度越大,动能越大;一定质量的空气,具有一定压力即静压,静压越大,压力能越大。根据能量守恒定律,气流稳定流过一条流管时,如果没有外界能量加入,也就没有能量损失,气流的总能量是不变的。即:

$$\text{动能} + \text{压力能} = \text{常量}$$

但是流体动能与压力能是可以互相转换的,当流速变小时,动能减小,压力能却增大,表现为压强增大;流速增大时,动能增加,压力能就要减小,表现为压强减小。这就是流速减小,压强升高,流速增大,压强降低的根本原因。

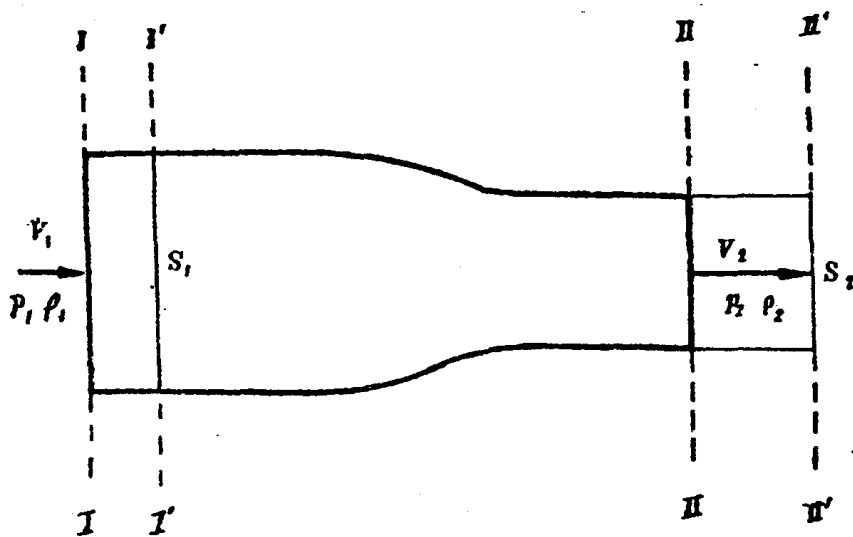


图 1-8. 推导伯努利方程用图