

继续教育本科教材

航空航天

医学工程

Aerospace Medicine Engineering



第四军医大学

第一章 绪 论

第一节 航空与航天的基本定义

航空航天技术是 20 世纪人类在认识自然和改造自然的过程中发展最迅速、对人类社会生活最有影响的科学技术之一，同时表征了一个国家科学技术的先进程度。

航空是指在地球周围稠密大气层内的航行活动。航天是指在大气层之外的近地空间、行星际空间、行星附近以及恒星际空间的航行活动。但是，在地面发射航天飞行器或者当航天飞行器返回地面时，都要经过大气层，特别是水平起降的航天飞机，虽然主要活动在大气层之外的空间，但其起飞和降落过程与飞机极为相似，兼有航空和航天的特点。因此从科学技术上看，航空与航天不仅是紧密联系的，有时也难以严格区别。航空航天一词，既指进行航空航天活动所涉及的科学技术，又指研制航空航天飞行器所涉及的科学技术。

航空航天技术的发展对国民经济和社会生活产生了重大影响。航空航天技术用于军事，使军事装备和军事技术发生了根本性的变化，使战争从平面向立体延伸，战争的格局发生巨大变化。飞机在战争中执行拦截、侦察、轰炸、攻击、预警、反潜、电子干扰以及运输、空降等任务。民用航空的发展，改变了交通运输的结构，为人们提供了一种快速、方便、舒适、安全的交通运输工具。飞机和直升机还广泛应用于农业作业、森林防火、大地测绘、地质勘探以及在高空进行各种科学研究工作。

航天技术和其他科学技术相结合，开拓了许多新的技术领域。卫星通信成为现代传递信息的重要手段。卫星广播可以对广大地区的公众直接进行电视广播。卫星导航引起了导航技术的重大变化，实现了全球、全天候、高精度的导航定位。气象卫星、地球资源卫星给人类带来的益处更是显著。环绕地球运行的航天站（空间站）、航天飞机、行星际和行星探测器等，是人类认识自然、改造自然的先进工具。

第二节 航空航天发展简史

自古以来，人类就怀有飞行的理想，渴望飞上蓝天、遨游宇宙。唐尧时代（四千多年前）就流传的“嫦娥奔月”（图 1—1）的神话；春秋时代肖史、弄玉乘龙跨凤的故事；古希腊代罗父子插翅逃亡的传说；阿拉伯的“波斯飞毯”等等。这些古老的神话与传说，是在生产力和科学技术水平极度低下的古代，人类幻想利用与征服天空的愿望。

人类为了实现飞行的理想，做过种种飞行的尝试与探索。据史料记载：春秋战国时代著名巧匠公输般（即鲁班）和学者墨子先后研制过能飞的木鸟；西汉王莽时期（公元 9—23 年）、欧洲的中世纪都有人模仿鸟类进行过飞行活动的尝试（图 1—2）。现在看来，这种飞人扑翼尝试的失败是必然的，但使人们认识到简单模仿鸟类飞行的做法并不能使人类升空实现飞行的理想。后来，有人经过科学分析后得出结论：由于人体肌力有限，以及人难以模仿鸟翅的复合运动，因此，人类要像飞鸟那样作长期的有效飞行是不可能的。人体扑翼飞行的失败，并不能阻挡人类通向天空的道路，人们通过别的途径探索前进的方向。



图 1—1 嫦娥奔月

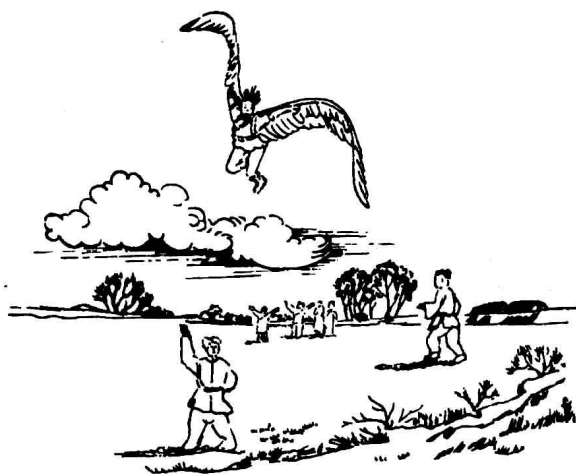


图 1—2 王莽时代的飞人

18 世纪的产业革命，生产了轻韧的纺织品，随后又发现了氢气，为人类升空提供了物质基础。1783 年，法国首先制成了热空气球（图 1—3）和发明了氢气球，并载人飞行成功。为人类征服天空迈出了第一步。但气球只能随风飘浮，不能按人的意志作定向飞行。1852 年，便在椭圆形的气球上安装了动力装置，发展成为可操纵的气球——飞艇（图 1—4）。



图 1—3 最初的热空气气球

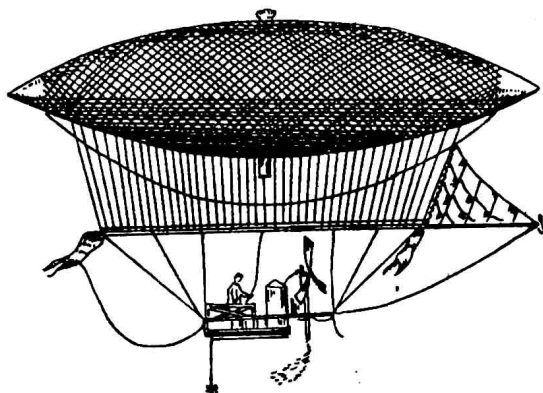


图 1—4 最初的飞艇

气球的升空与应用，大大地激发了人们研制飞行器的热情。许多航空爱好者潜心设计、制作新的飞行器——滑翔机和飞机。经过数以千计的滑翔试验，并取得成功，为飞机的发明提供了理论基础和技术上的准备。美国莱特兄弟吸取了各国的滑翔飞行经验和教益，认识到为了使飞机能够成功地飞行，必须解决升力、动力和稳定操纵问题。于 1903 年研制出世界上第一架飞机（图 1—5）。当时飞机离地几米，飞行 260 米，留空时间 59 秒，开创了人类持续动力飞行的新纪元。

飞机问世之后，工业发达的国家也相继研制出外形各异的飞机。1909 年我国旅美华侨冯如设计、制造并亲自驾驶飞机获得成功。曾在当时的国际比赛中获得冠军。他于 1911 年返华报效祖国，次年在广州作飞行表演时不幸失事牺牲，为世界航空事业的发展作出了巨大的贡献。

1914 年爆发了第一次世界大战,飞机开始用于军事目的,交战各国拥有的飞机已达数百架。飞机起初主要用于侦察和照相,后来由于战争的需要,又出现了带武器的“驱逐机”(现称歼击机),其目的是“控制天空”,接下来又出现了轰炸机和强击机,将战争的活动范围扩展到三维空间。战争刺激了飞机的发展,时速达 200 千米,升限至 8 千米,其性能均为大战前的两倍。

两次世界大战之间,在“空军制胜论”的影响下,进一步促进各国军用飞机的发展,并在第二次世界大战之前各军事大国纷纷成立了独立的空军。1939 年爆发的第二次世界大战是以飞机和机械化部队拉开战幕。之后的许多重大战役作战飞机起了重要作用,成为战争中强有力的攻击武器,其间飞机的性能得到迅速提高,将活塞式飞机的速度发展到极限 785 千米/小时,升限达 17.5 千米,飞机设备进一步改善,武器装备不断增强,二次大战末期还出现了喷气式飞机和导弹。

1947 年美国以火箭喷气发动机为动力的飞机首次突破音速,实现了超音速飞行。50 年代便涌现出大量的超音速战斗机,其速度很快增至音速的两倍,高度达二万米。60 年代,飞机仍向快、高、远方向发展,将速度增加到三倍音速以上,高度达三万多米,实现了人们所追求的“双三”飞行。70 年代,人们从实战出发,要求飞机具有高、低速的综合飞行性能和灵活多变的机动能力,便出现了变后掠翼飞机和垂直起落飞机。80 年代,根据局部战争的特点,要求飞机突出中、低空格斗能力和精确制导的攻击武器,因此,研制出具有高机动性能且作战能力很强的全天候战斗机。90 年代初的海湾战争以及近年来几场大的地区战争表明,空战将成为未来高技术条件下局部战争的一个非常重要的作战样式,强大的航空作战力量,它既可以单独完成闪电般的“外科手术”式打击,又可以作为战争的主体力量大量杀伤和削弱敌方作战力量,为胜利奠定基础。作为武器平台实施武器发射和投放的军用飞机,随着航空技术的高速发展,各国都加快了更新换代的步伐,不断推出具有特殊功能的新机种、新装备,并加紧研制 21 世纪的作战飞机,这种飞机的性能将突出超音速巡航与高机动性能、隐身性能、短距起落性能和维护保障性能等。

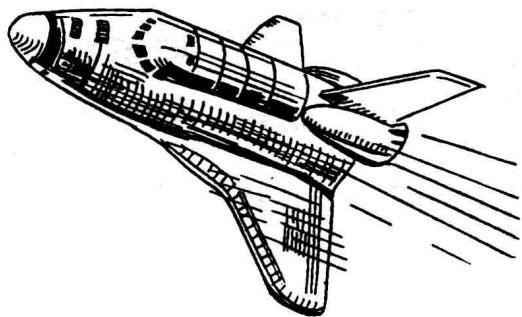


图 1—6 航天飞机

1—6),它为人类提供了理想的航天运载工具,使航天技术开始进入使用阶段。标志我国跨入航

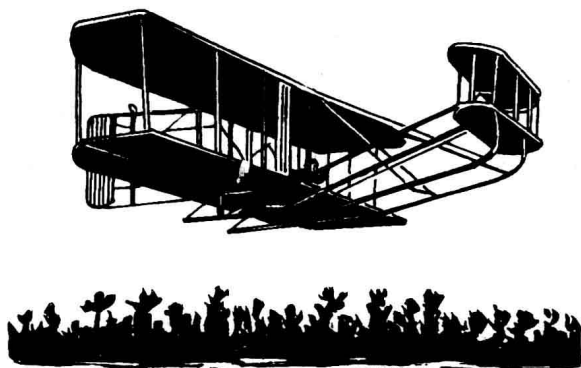


图 1—5 莱特兄弟制造的飞机

航天技术在航空事业的基础上兴起。1957 年,前苏联利用现代火箭技术成功地发射第一颗人造地球卫星,揭开了航天时代的序幕。1961 年,前苏联又成功地发射载人宇宙飞船,加加林成为第一个进入太空的人。1969 年,美国的两名宇航员乘“阿波罗”11 号飞船登上月球,继后还使用了月球动力车。从 60 年代起,人类多次发射考察宇宙空间的行星探测器。70 年代初期,人们开始建立空间实验室(航天站)。1981 年,美国研制出能够重复使用的航天飞机(图

天时代的第一颗人造地球卫星——东方红一号于1970年发射成功。迄今,我国已成功发射了六十多颗卫星,已具备把卫星送入各种不同轨道及一箭多星的技术能力。1999年11月20日,我国第一艘试验飞船“神舟”号发射升天,环绕地球飞行21小时11分,完成预定任务后,成功返回,表明我国的航天技术已赶上了世界先进水平。

第三节 飞行器的分类

在地球大气层或大气层之外的空间飞行的器械通称为飞行器。通常,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;主要在大气层之外空间飞行的飞行器,称为航天器;依靠制导系统控制其飞行轨迹的飞行武器,称为导弹;靠火箭发动机提供推进力的飞行器,称为火箭。

一、航空器

任何航空器都需要产生升力克服自身重力才能升空飞行。按照产生升力的基本原理,可将航空器分为两大类,即靠空气静浮力升空飞行的航空器(也称轻于空气的航空器)和航空器与空气相对运动产生空气动力升空飞行的航空器(也称重于空气的航空器)。

(一) 轻于空气的航空器

轻于空气的航空器包括气球和飞艇,主体是一个气囊,其中充以密度小于外界空气密度的气体(如热空气、氢或氦),由于气球所排开的空气重量大于气球本身的重量,产生静浮力使气球升空(阿基米德原理)。

1. 气球 没有动力装置,升空后只能随风飘动或被系留在固定位置上。利用抛掉重物或放出一些气体来操纵升降(图1—7),可用于气象探测、空中侦察和跳伞训练等。

2. 飞艇 装有发动机和螺旋桨、安定面和操纵面以及装载人或物的吊舱,飞行路线可以控制(图1—8)。飞艇早期用于航空运输和作战,后期因机动性差、造价昂贵、易出事故而被飞机所代替。近期,由于航空科技的发展,又重新应用,它将广泛用于交通运输、矿藏勘探、海洋调查、建筑工程等方面。

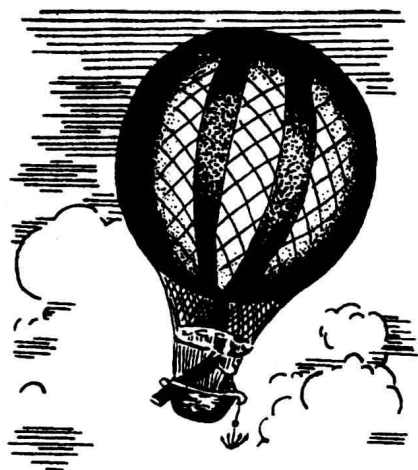


图1—7 气球

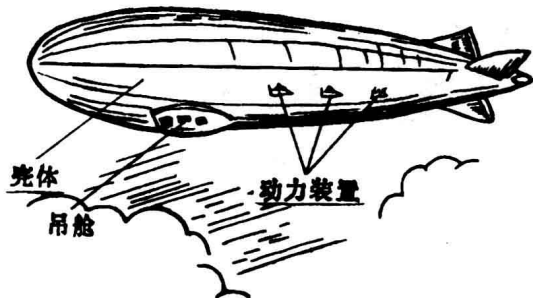


图1—8 飞艇

（二）重于空气的航空器

重于空气的航空器是靠自身与空气相对运动产生升力升空飞行的。这种航空器主要有固定翼和旋翼两类。前者包括飞机和滑翔机，后者包括直升机和旋翼机。

1. 滑翔机 飞行原理与构造形式上与飞机基本相同，只是它没有动力装置和推进装置，一般由弹射或拖曳升空，然后靠有利的气流（如上升气流）上升或降低高度（位能转变为动能）继续飞行。滑翔机（图 1—9）是航空体育运动的重要项目之一，也是训练飞机驾驶员的良好辅助工具。

2. 飞机 由发动机产生前进动力，靠固定机翼产生升力以维持飞行的，是应用最广泛最主要的一种航空器。

3. 直升机 以动力驱动旋翼的转动而产生向上的拉力，使之能直升直降及空中悬停，而且可作前后左右的运动。因此，直升机（图 1—10）可承担飞机无法完成的飞行任务，如它可在山地、丛林、沙漠、沼泽以及水面等复杂的地形执行任务，用于紧急运输物资、武器、人员以及通讯联络和救护伤员等。因此，它是航空救生的重要交通工具。

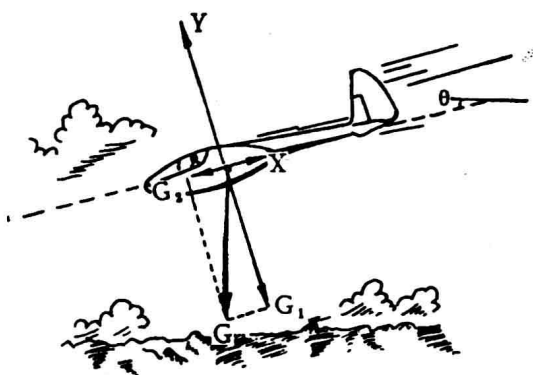


图 1—9 滑翔原理

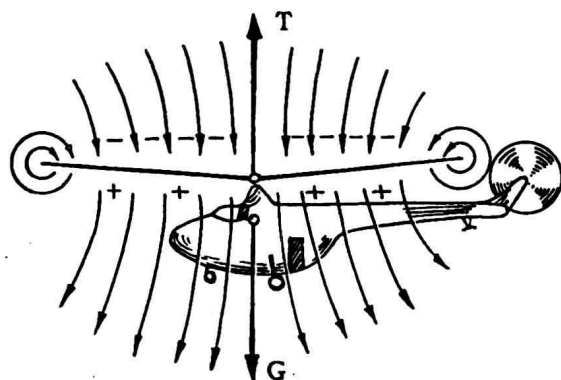


图 1—10 直升机产生向上的拉力

4. 旋翼机 与直升机比较，旋翼机的旋翼没有动力直接驱动，而靠自身前进时（前进的动力由动力装置提供）相对气流吹动旋翼转动产生升力。

5. 垂直起落飞机 是一种能够垂直起飞着陆的飞机，它还可短距起落，又称垂直/短距起落飞机。它是靠发动机整体转动或喷口转向，以产生向上的推力来克服自身重量，使之垂直起落。在垂直起落过程中，利用机头、翼尖、机尾喷出的压缩空气，产生反作用力可有效地控制飞机状态。垂直起落飞机由悬停转为水平飞行，需要一个动力转向水平的过渡阶段（图 1—11），然后才按飞机的飞行方式飞行。因此，它具有直升机和飞机两者的共同特点，但其性能又优于直升机。

上述航空器有一共同的特点，必须依附周围的空气才能升空飞行。如果离开了空气，既产生不了静浮力，也产生不了升力，而且它们所采用的航空发动机，需从大气中获取氧气来帮助燃料的燃烧才能工作。

航空器的分类如图 1—12 所示。

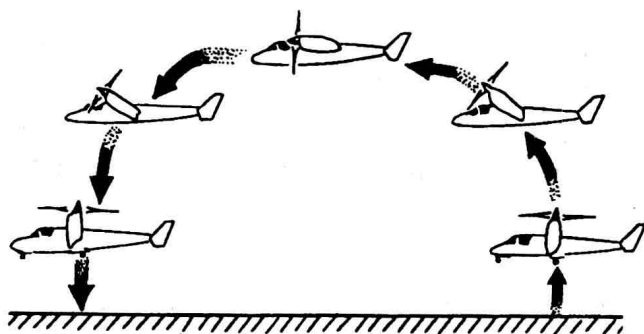


图 1—11 垂直起落和过渡飞行

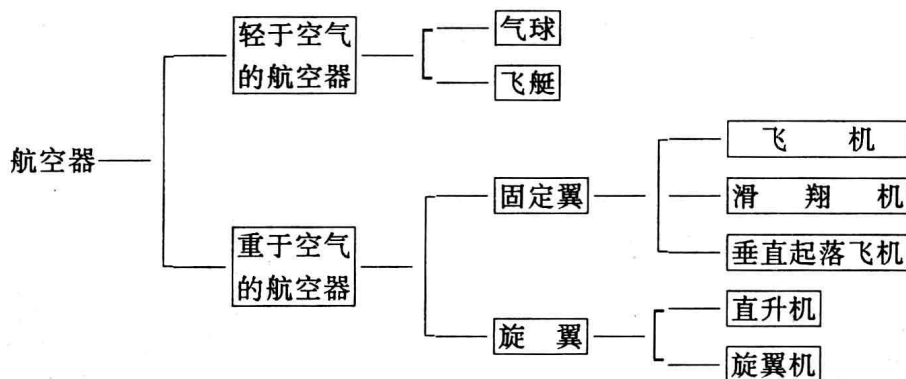


图 1—12 航空器分类

二、航天器

航天器是在稠密大气层之外环绕地球或在行星际空间、恒星际空间基本上按照天体力学规律运行的各种飞行器，又称空间飞行器。与天然天体不同的是，航天器可以按照人的意志改变其运行轨道。

航天器可以分为无人航天器和载人航天器，前者可以按照是否环绕地球运行分为人造地球卫星和空间探测器，后者又可分为载人飞船、航天站（又称空间站）和航天飞机。

（一）无人航天器

1. 人造地球卫星（简称人造卫星） 是由运载火箭发射到一定高度，获得必要的速度，沿一定轨道环绕地球，基本上按天体力学规律运行的一种航天器。按其用途又可分为：用于科学研究的科学卫星、直接为国民经济和军事服务的应用卫星和进行航天技术试验的技术试验卫星等。按用途可再细分，如应用卫星可分为通信卫星、气象卫星、侦察卫星等。

2. 空间探测器（又称深空探测器） 是对月球、行星、行星际和恒星际空间进行探测的航天器。目前，已发展到探测太阳系之外宇宙空间的探测器。

（二）载人航天器

载人航天器按照飞行和工作情况可分为载人飞船、航天站和航天飞机。

1. 载人飞船（宇宙飞船） 有卫星式载人飞船和登月载人飞船。它们提供航天员在外层空间生活和工作的条件，并能安全返回地面。载人飞船可以独立进行航天活动，试验各种载

人技术，考察失重和空间辐射等因素对人体的影响，发展航天医学；也可以作为往返于地面和航天站（或月球）之间的“渡船”，接送人员和运送物资等。

载人飞船如图 1—13 所示。

2. 航天站 是可供多名航天员巡访、长期工作和生活的航天器，又称空间实验室（图 1—14），它的运行原理与环绕地球的卫星式载人飞船类似，其主要区别是，后者运行时间很短，一般仅能一次使用后返回地面。航天站主要用途：天文观测，勘测地球资源；医学与生物学研究；利用太空高真空、高纯净和微重力的特殊环境发展新工艺、新技术，如制取新型合金和超纯材料等；大地测量、军事侦察以及试验和发射航天武器或航天器；为人们长期居住、开展航天活动和开发太空资源提供场所等。

3. 航天飞机 是可以重复使用，往返于地面和近地轨道之间运送有效载荷或在轨道上完成规定活动的航天器。它是火箭、航天和航空技术的综合产物。航天飞机利用火箭的巨大推力垂直起飞，使其进入空间轨道。在轨道上执行航天任务，如运送

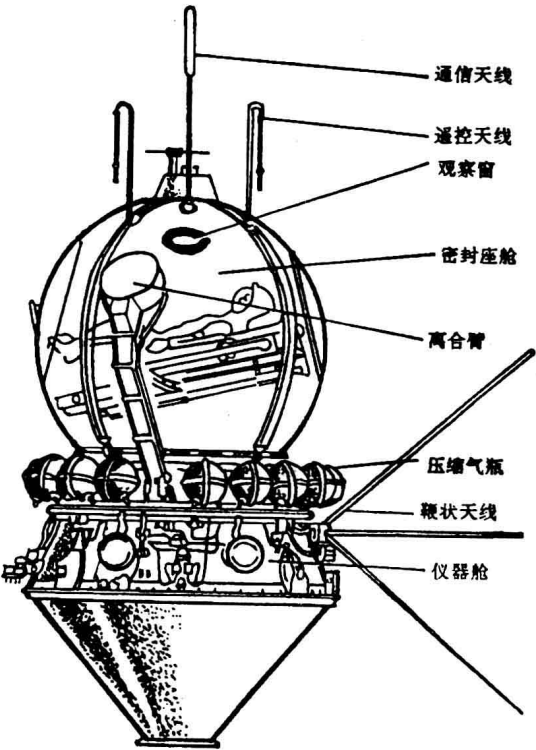


图 1—13 “东方”号载人飞船

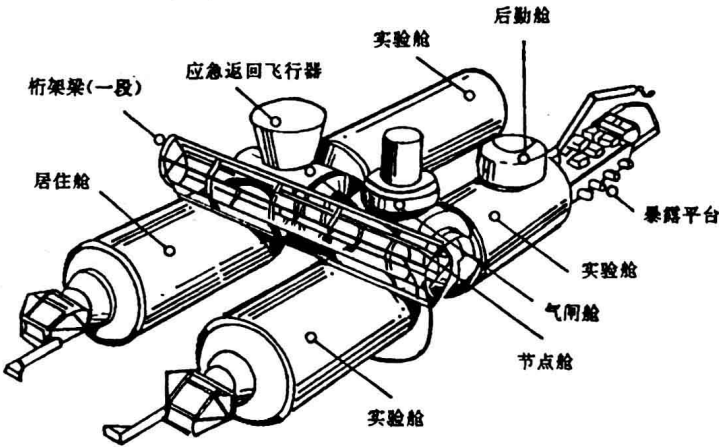


图 1—14 航天站（空间实验室）

人员和物资；施放卫星或发射星际飞行器；检修或回收己方卫星以及拦截敌方航天武器等。返回地面时，能像飞机那样下滑着陆于机场跑道。经检修后可再次使用从而节约大量的航天经费。目前正在探索像飞机那样水平起飞、水平着陆的航天飞机（又称空天飞机）。

航天器的分类如图 1—15 所示。

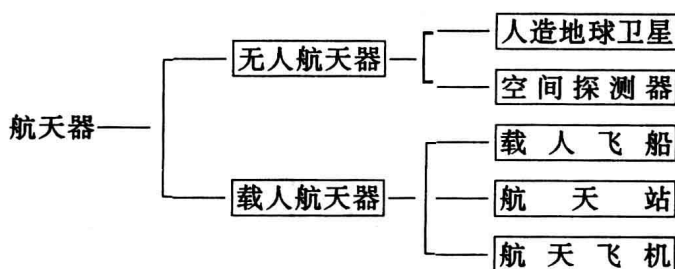


图 1—15 航天器分类

三、火箭和导弹

火箭 是火箭发动机和以火箭发动机为动力的飞行器的总称。火箭按能源的区别分有化学火箭、核火箭、电火箭。按用途分有无控火箭弹、探空火箭、运载火箭等。

导弹 是由制导系统控制其飞行轨迹的飞行武器，其特点是带有战斗部。按导弹飞行特点可分为弹道式导弹、巡航导弹和可作高机动飞行的导弹（如地空导弹、空空导弹等）三大类。导弹的动力装置可以是火箭发动机，也可以是涡轮喷气发动机或冲压发动机。每类导弹都可以按用途或射程大小再予以细分。

第四节 飞行环境

一、大气飞行环境

包围地球的空气层（大气）是航空器唯一的飞行活动环境，也是导弹和航天器的飞行活动环境。大气层没有明显的上限，它的各种特性沿铅垂方向上的差异非常显著，例如空气密度和压强都随高度增加而减小。在 10 千米高度，空气密度只相当于海平面空气密度的 $1/3$ ，压强约为海平面压强的 $1/4$ ；在 100 千米高空，空气密度只是地面密度的 $4 \times 10^{-5}\%$ （百万分之零点四），压强只是地面的 $3 \times 10^{-5}\%$ （百万分之零点三）。

以大气中温度随高度的分布为主要依据，可将大气层划分为对流层、平流层、中间层、热层和散逸层等 5 个层次。航空器的飞行环境是对流层和平流层。

1. 对流层

大气中最低的一层为对流层，其中气温随高度增加而降低，空气对流运动极为明显。对流层的厚度随纬度和季节而变化，低纬度地区平均为 16~18 千米，中纬度地区平均为 10~12 千米，高纬度地区平均为 8~9 千米。对流层集中了全部大气质量的约 $3/4$ 和几乎全部的水气，是天气变化最复杂的层次，飞行中所遇到的各种重要天气变化几乎都出现在这一层中。

2. 平流层

平流层位于对流层之上，顶界扩展到 50~55 千米。在平流层内，随着高度的增加，起初气温保持不变（为 190K）或者略有升高；到 20~30 千米以上，气温升高很快；到了平流层顶，气温升至 270~290K。平流层的这种气温分布特征同它受地面影响较小和存在大量臭氧有关。过去常称这一层为“同温层”，实际上指的是平流层的下部，平流层中空气沿铅垂方向的运动较弱，因而气流比较平稳，能见度较好。

3. 中间层

中间层从 50~55 千米伸展到 80~85 千米高度。这一层的特点是：随着高度增加，气温下降，空气有相当强烈的铅垂方向的运动。这一层顶部的气温可低至 160~190K。

4. 热层

热层从中间层顶延伸到 800 千米高空。这一层的空气密度极小，声波已难以传播。热层的一个特征是气温随高度增加而上升，另一特征是空气处于高度电离状态。

5. 散逸层

散逸层又称外小气层，位于热层之上，是地球大气的最外层，此处空气极其稀薄，又远离地面，受地球引力较小，因而大气分子不断地向星际空间逃逸。

二、空间飞行环境

空间飞行环境包括自然环境和诱导环境，前者包括真空、电磁辐射、高能粒子辐射、等离子体、微流星体等；后者指航天器或其某些系统工作时诱发的环境，如失重、振动、冲击及感应磁场等。

1. 地球空间环境

地球空间环境包括地球高层大气、电离层和磁层。高层大气密度和压强随高度的增加按指数规律下降，在 1000 千米处大气压强约为 $10^{-10} \sim 10^{-11}$ 帕，在 10000 千米处约为 10^{-14} 帕。此外，大气密度与压强还随季节和太阳活动程度等因素而变化，因而是极复杂多变的结构。电离层几乎全为电子和正离子，电子浓度随高度变化，还随昼夜、季节、纬度和太阳的活动而变化。从距地球表面 600~1000 千米处开始向远处空间延伸，有一个磁层，其顶层距地面约为地球半径的 8~11 倍。磁层中还存在着密集的高能带电粒子辐射带，又称“范爱伦辐射带”，可能引起航天器材料、器件和人体辐射损伤。

2. 行星际空间环境

行星际空间是一个广阔的极高真空度的环境，存在着太阳连续发射的电磁辐射、爆发性的高能粒子辐射和稳定的等离子体流（太阳风）。这里环境主要受太阳活动的影响，还受来自银河系的宇宙线和微流星等的影响。

三、标准大气

如上所述，大气物理性质（温度、密度、压强等）是随所在地理位置、季节和高度而变化的。为了在进行航空器设计、试验和分析时所用大气物理参数不因地而异，必须建立一个统一的标准，即所谓的标准大气。它是由权威机构颁布的一种“模式大气”。它依据实测资料，用简化方程近似地表示大气温度、密度、压强、声压等参数的平均铅垂分布。按照上述公式算出来的大气参数沿高度的变化，排列成表，即为标准大气表。由国际性组织（如国际民用航空组织，国际标准化组织）颁布的标准大气称国际标准大气，国家机构颁布的称国家标准大气。中国国家标准总局于 1980 年颁布了“中华人民共和国标准大气”（30 千米以下部分）。应当注意，各地的实际大气参数是与标准大气之间存在差别的。

思 考 题

1. 何谓航空、航天？它们之间有何区别与联系？
2. 飞行器通常是怎样分类的？

3. 简述航空器的分类方法及各类航空器的主要特点是什么？
4. 简述航天器的分类方法及各类航天器的主要特点是什么？
5. 大气飞行环境划分的主要依据是什么？共分几层？各层的特点是什么？
6. 空间飞行环境包括哪几个方面的内容？

第二章 飞行的基本原理

第一节 气流特性

一、相对气流

当人们站在有风的地方，会感到有空气流过身边；无风的时候，乘敞篷汽车奔驰，同样会感到有空气流过身边。这两种情况虽然有所不同：前者是空气流动，物体不动；后者是空气静止，物体运动。但是，只要空气与物体之间有了相对运动，就有空气相对于物体的流动。因此，空气相对于物体的流动，叫做相对气流，简称气流。

根据相对气流的概念，无论是飞机在平静的空气中运动，或是空气流过不动的飞机，只要它们之间有了相对运动，便会出现相对气流，而对飞机所产生的空气动力，其实质都是一样的。为了分析问题方便起见，往往采用飞机不动，让空气以等于飞机运动的速度迎面流过飞机，来研究飞机上空气动力的产生和变化。

二、流速与管径的关系——连续性原理

日常生活中，我们见到：河水在河道窄的地方流得快，在河道宽的地方流得慢；山谷里的风比开阔平原地的风大；穿堂风比院子里的风大等等。这些现象都说明了不论是水，还是低速流动的空气，它们在流动过程中，总是在窄的地方流得快，宽的地方流得慢。

空气或水在管子里流动情况，如同上述现象一样，流速随管道的切面积（管径）变化而变化。例如，当空气流经一个粗细不等的管子时（图 2—1），在单位时间内流过任一切面的空气质量为： $m = \rho VA$ 式中 ρ 为空气密度， V 为流速， A 为切面积。由于空气在管道里是连续不断地稳定

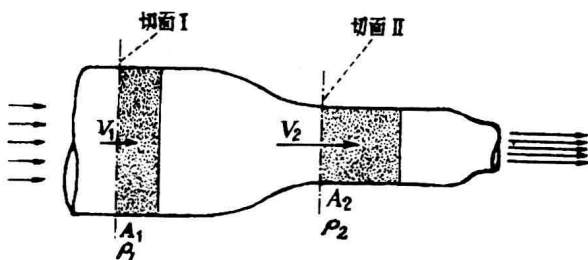


图 2—1 流速随管径的变化

流动，这就要求在同一时间内，空气从管子粗的一端流进多少，也应从管子细的另一端流出多少。因此，在空气密度保持不变的情况下， $V_1 A_1 = V_2 A_2 = \text{常数}$ ($A_1 > A_2$)，那么，空气在管径细的地方（切面 II），流速 (V_2) 必须加快，才能保证一定量的空气同时流过去；空气在管径粗的地方（切面 I），流速 (V_1) 必然减慢，才能使一定量的空气充满管子的空间流动。如果不是这样，空气（或其它流体）便会在管子里发生积聚或中断现象，这就不符合流体连续流动的本性。流体的这一特性：管径细，流速快；管径粗，流速慢，即为连续性原理。根据这条原理，消防灭火水龙头为了增大喷射速度，在水带的末端装上收敛的圆锥形喷口，其道理就在这里。

三、流速与压力的关系——伯努利定理

空气流速的变化，会引起空气压力（即静压力）发生相应的变化，其变化规律可用图 2-2 所示的实验来说明。实验前，试验管内的空气是静止的，管内各处的空气压力都等于同一大气压力，连通器的各水柱液面在同一水平线上。但当空气稳定流过试验管道时，在中间管道细流速快（连续性原理）的地方，水柱升高，说明这里的空气压力变小；在两端管道粗流速

慢的地方，水柱下降，说明这里的空气压力较大。这个实验结果表明：当流体稳定地流过一条管道时，流速快的地方，压力小；流速慢的地方，压力大，流体的这一特性，就叫做伯努利定理。

伯努利定理从本质上分析，是气体内部能量互相转换的结果。低速水平流动的空气，参与能量转换的有压力能和动能。压力能是空气垂直作用于物体表面的静压力，动能则是空气的运动速度滞止到零所具有的动压力。由能量守恒定律可知，如果没有能量加进去，也不考虑能量损失，则其压力能与动能之和（总能量）保持不变，但能量在一定条件下可以相互转换。因此，动能增大，压力能必然减小；动能减小，压力能必然增大。这就说明了为什么流速加快，压力降低，而流速减慢则压力升高的道理。

在日常生活中，可以观察到表现伯努利定理的许多事例。例如：向两张纸片中间吹气，两张纸片不是彼此离开，而是互相靠拢（图 2—3）。这是因为两张纸片中间的空气流速加快时，压力要降低，使两张纸片中间的空气压力小于纸片外侧的大气压力，于是纸片在此压力差的作用下互相靠拢。又如，我们常用的喷雾器（图 2—4），当用气筒打气时，空气被迫从细小的喷口喷出，流动速度大大加快，使那里的压力很低，而瓶内的液体在外界大气压力的作用下，便沿着小管上行，与空气混合成雾化液体被喷出等等。

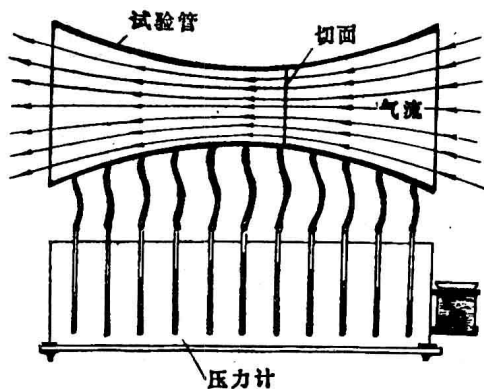


图 2—2 流速与压力的关系实验

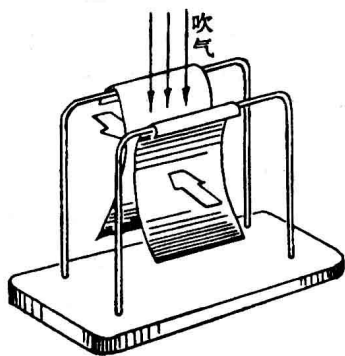


图 2—3 两纸片在压力差作用下互相靠拢

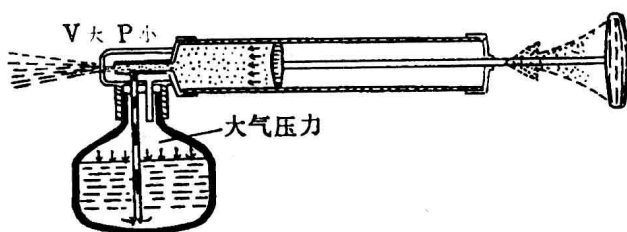


图 2—4 喷雾器原理

综合上述气流的特性，便可得出如下结论：空气在管道中流动时，在管径细的地方，流速快，压力小；在管径粗的地方，流速慢，压力大。这个结论是分析机翼产生升力的理论依据。

第二节 飞机的飞行原理

一、飞机的升力和阻力

（一）飞机的升力

在阐述升力产生之前，还需弄清空气流过机翼的情形。空气流过机翼的情形，可以通过烟风洞的流线谱实验（图 2—5）形象地显示出来，然后根据气流特性，就不难理解机翼升力的产生原理。

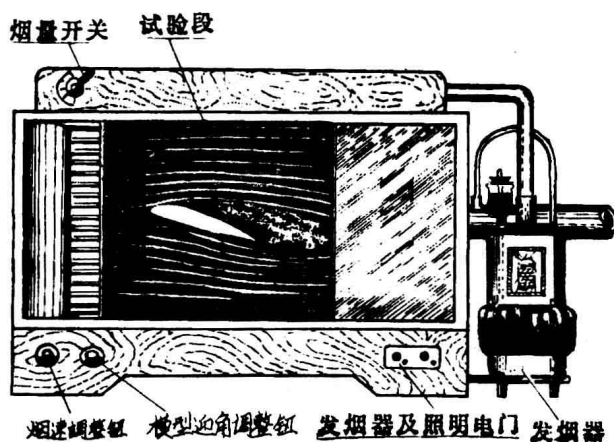


图 2—5 烟风洞实验及机翼流线谱

1. 机翼的流线谱

流线 空气质点（或微团）所流动的轨迹。在烟风洞实验中，一条条流动的烟迹，表示空气质点在运动中的流线。

流管 从烟风洞实验中可以看出，空气质点是沿着流线流动的，致使流线这一边的空气不会流到另一边去。因此，在任何两条相邻流线之间的空气，就好像在一根管子里流动一样。我们把邻近的两条流线所组成的“管子”，叫做流管（图 2—6）。如果两条流线间隔缩小，表明流管变细；流线间隔扩大，表明流管变粗。



图 2—6 流管

机翼流线谱 由许多流线通过机翼所构成的图形（即烟风洞试验段中演示出来的图形）。机翼流线谱是分析机翼上空气动力的产生和变化的依据。

机翼流线谱主要取决于翼切面形（翼型）和机翼迎角。不同的翼型构成不同的机翼流线谱；某一翼型的流线谱又随机翼迎角的大小而变化。

机翼迎角 相对气流方向与翼弦（翼切面前、后缘两点连线）所夹的角度（ α ），称机翼迎角（图 2—7a）。迎角用来表示机翼在气流中的相对位置：相对气流方向指向机翼下表面所形成的迎角为正迎角（图 2—7b）；相对气流方向与翼弦平行为零度迎角；相对气流方向指向机翼上表面所形成的迎角为负迎角（图 2—7c）。迎角虽然有正负，但在飞行中经常使用的是正迎角，只在某些特殊情况下，如倒飞或进入俯冲推杆过猛时，才会出现负迎角。

2. 机翼升力的产生

飞机向前运动时，空气流经双凸形机翼的流线谱如图 2—8 所示。空气流到机翼前缘，分为上、下两股，分别沿着机翼上、下表面流过，在机翼后缘重新汇合向后流去。流经机翼上表面的一股流线，由于受到上表面凸起的影响，迫使流线收敛变密，流管变细；流经机翼下

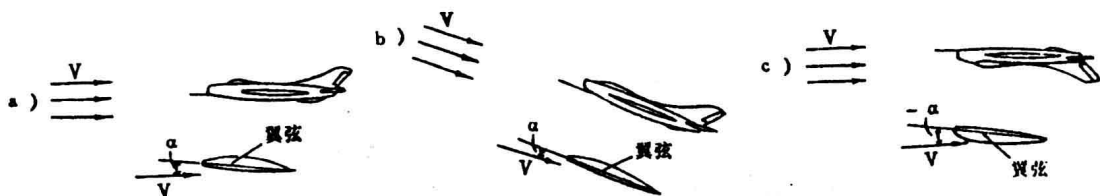


图 2—7 机翼的迎角

表面的一股流线,也要受到下表面凸起的影响,但由于下表面凸起的程度没有上表面大,相对于上表面来说,流线较疏,流管较粗。气流特性告诉我们:流管变细的上表面,流速加快,压力减小;流管较粗的下表面,流速减慢,压力较大,于是,机翼上、下表面就产生了压力差。机翼各切面上、下压力差的总和,便是机翼的升力(Y)。升力方向与相对气流的方向相垂直。

(二) 飞机的阻力

飞机在空气中运动,不仅会产生升力,同时还会产生阻力。低速飞行时,飞机的阻力主要有摩擦阻力和压差阻力等。高速飞行时,由于激波的影响,还会产生另一种阻力——波阻(将在高速飞行常识中介绍)。无论哪一种阻力都与飞行方向相反,阻碍着飞机前进。

1. 摩擦阻力

气流与飞机表面发生摩擦形成的阻力,叫做摩擦阻力。摩擦阻力是由于空气具有粘性,飞机表面又不绝对光滑,空气流过飞机时,与飞机表面发生摩擦而产生的(图 2—9)。

摩擦阻力的大小与飞机表面的光滑程度有关。表面越光滑,摩擦阻力越小。

2. 压差阻力

飞机前后压力差所形成的阻力,叫做压差阻力。现以机翼为例,说明压差阻力产生的原因。

空气流过机翼时,在机翼前缘受到阻挡,流速减慢,压力增大;但在机翼后缘,压力则比较小。特别是在较大迎角下,气流分离形成涡流区,由于涡流区内的空气发生旋转,压力减小,同时由于空气质点之间,相互摩擦,一部分能量变成热能而散失,从而使压力降低。这样在机翼前后就出现了压力差,产生压差阻力(X,图 2—10)。人在逆风行走时,感到很困难,就是遇到这种阻力的缘故。

压差阻力的大小与物体形状有关,为此飞机各部外形应尽量呈“流线型”,以减小压差阻力。

飞机的阻力除了上述两种阻力外,还有诱导阻力和干扰阻力。诱导阻力是由于机翼产生升力所致:机翼下表面的空气压力大于上表面,它要绕过翼尖向机翼上表面流动,形成翼尖涡流,而损失一部分能量,所增加的阻力,谓之诱导阻力。干扰阻力是飞机各结合部所带来

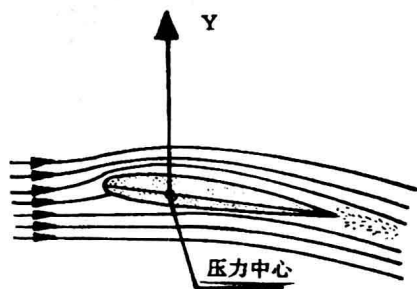


图 2—8 机翼升力的产生

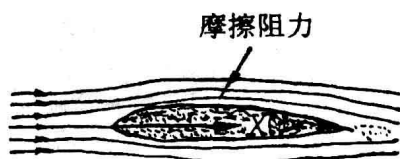


图 2—9 机翼的摩擦阻力

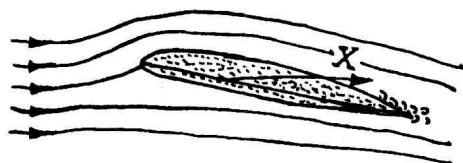


图 2—10 机翼的压差阻力

的阻力。

二、飞机升、阻力的影响因素

飞机的升力和阻力，统属飞机的空气动力，因此，凡是影响飞机升力大小的因素，同时影响着飞机阻力的大小。

1. 飞行速度

飞行速度越大，流经机翼上、下表面气流速度的差值增大，使机翼上、下表面压力差增大，即升力增加。飞行速度越大，摩擦阻力和压差阻力必然随之增大。实验证明：升、阻力与飞行速度的平方成正比。

2. 空气密度

空气密度愈大，流过机翼上、下表面的空气量增多，造成机翼上、下表面压力差增加，故升力增加。空气密度愈大，阻力也会愈大。升、阻力与空气密度成正比。

3. 机翼面积

机翼面积越大，机翼上、下表面产生压力差的地方越多，压力差的总和就越大，所以升力越大。同理，阻力也越大。升、阻力与翼面积成正比。

4. 机翼切面形状

机翼上表面愈弯曲，对气流的加速作用愈大，压力减小就愈多；机翼下表面愈平坦，对气流的加速影响愈小，则压力较大，于是机翼上、下表面压力差增大，使升力增加。因此，在其它因素相同的条件下，平凸形和双凸形的机翼升力较大；对称形和菱形的机翼升力则较小。凡是升力大的翼型，它的阻力也大。

飞行中放下襟翼时，可改变机翼的局部切面形状，使机翼上表面弯曲程度增大，压力减小；下表面使气流受到阻挡，压力增大，从而使机翼上、下表面的压力差增大，升力增加。因此，襟翼是增加升力的一种装置。同时，也增加一定的阻力。在起飞和着陆时，由于飞行速度较小，为产生足够的升力以支持飞机重量，所以要将襟翼放下一定的角度。

5. 机翼迎角

在一定迎角（临界迎角）范围内，升力随迎角增大而增大。这是因为机翼由小迎角逐渐增大时（如图 2—11A、B、C 所示），机翼上表面显得更为弯曲，流管变得更细，流速进一步加快，压力更为降低；机翼下有面对气流的阻挡作用增强，流管也较粗，流速减慢，压力增加，于是机翼上、下表面压力差增大，所以升力增大。当迎角增大到某一迎角时（图 2—11C），升力增至最大，这一迎角就称临界迎角。超过临界迎角，如再增大迎角时，机翼上表面将出现大量涡流，致使气流无法再继续沿着机翼上表面流动，而是由机翼前缘平直地向后

流去(图 2—11D),形成气流分离现象。此时,机翼上表面流管反而变粗,流速减慢,压力增加,升力反而减小。

飞机超过临界迎角飞行时,不仅升力会减小,而且阻力会显著增加,将引起飞机操纵性能变坏,导致飞机失速。失速前,有飞机抖动、驾驶杆变轻的特征。失速后,飞机下沉,很容易进入螺旋。螺旋是一种危险的飞行状态,因此,在一般飞行训练中,应尽量避免接近临界迎角飞行。临界迎角依据机型的不同而有所不同,如歼 7 飞机是 27° ,歼 8B 飞机是 41° ,三叉戟飞机是 13.5° 等等。

综合上述影响升力、阻力的因素及其变化规律,可分别用升力公式和阻力公式表述如下:

$$Y = C_Y \frac{1}{2} \rho V^2 S$$

$$X = C_X \frac{1}{2} \rho V^2 S$$

式中: Y—升力

X—阻力

C_Y —升力系数 (与翼型、迎角有关)

C_X —阻力系数 (与翼型、迎角、表面光洁度有关)

ρ —空气密度

V—飞行速度

S—机翼面积

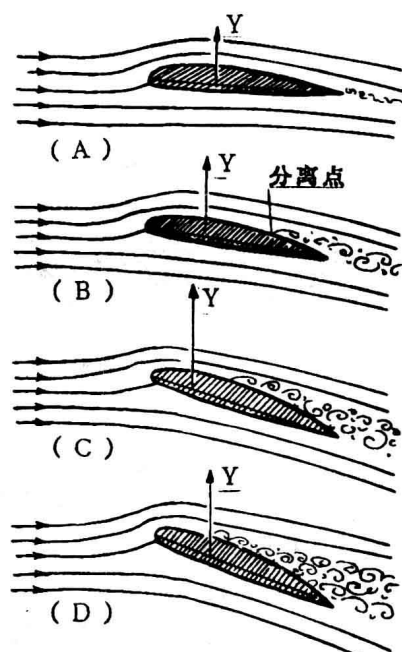


图 2—11 不同迎角下的机翼升力

第三节 高速飞机飞行的特点

飞机在低速飞行时,气流中的空气密度变化很小,我们没有考虑空气密度对飞行的影响。但在高速飞行时,气流中的空气密度要发生显著的变化,它对飞行产生了许多影响,并带来一些新的特点。

一、飞行 M 数

飞机的飞行速度与飞机所在高度的音速之比,叫做飞行 M 数 (亦称马赫数)。即

$$M = \frac{V}{a_H}$$

式中 M—飞行 M 数

V—飞行速度

a_H —飞机所在高度的音速

飞行 M 数的大小可衡量飞机对周围空气的压缩程度。飞机在飞行过程中会扰动周围的空气,形成飞机对空气的压缩。这种压缩程度取决于两个因素:一是飞行速度的大小,飞行速度愈大,飞机对空气的作用力就愈大,致使空气密度增大,空气的压缩程度便增加。二是空气本身被压缩的难易程度,在高速空气动力学中通常以音速的大小来衡量,如音速小,表明