图书在版编目（CIP）数据

天高任鸟飞 航空航天卷/高树理主编. —济南：山东科学技术出版社，2007.4
（自然科学向导丛书）
ISBN 978-7-5331-4685-6

Ⅰ.**天**… Ⅱ.**高**… Ⅲ.①**航空—普及读物**②**航天—普及读物** Ⅳ.V-49

中国版本图书馆 CIP **数据核字（**2007**）第** 037064 **号**

自然科学向导丛书

天高任鸟飞

（航空航天卷）

总主编　王修智

主　编　高树理

出版者：山东科学技术出版社
地址：济南市玉函路 16 **号**
邮编：250002　**电话：**（0531）82098088
网址：www.lkj.com.cn
电子邮件：sdkj@sdpress.com.cn
发行者：山东科学技术出版社
地址：济南市玉函路 16 **号**
邮编：250002　**电话：**（0531）82098071
印刷者：山东新华印刷厂
地址：济南市胜利大街 56 **号**
邮编：250001　**电话：**（0531）82079112

开本：700mm×1000mm　1/16
印张：14.25
字数：185 **千字**
版次：2007 **年** 4 **月第** 1 **版第** 1 **次印刷**

ISBN 978-7-5331-4685-6
定价：18.50 **元**

需要全本请访问 www.ertongbook.com

f



第一章

航空科学技术基础

重于空气的物质为什么也能飞上天

1783 年 11 月 21 日，法国人发明的热气球第一次升上天空，开创了人类航空的新时代。这种热气球的主要部分是气囊，充以比空气密度小的气体（如热空气、氢气等），可以依靠空气的静浮力升上空中。然而重于空气的航空器（飞机）是怎样飞上天的呢？

任何航空器都必须产生大于自身重力的升力才能升空飞行，飞机的升力来自于它的“翅膀”——机翼。飞机的机翼包括固定翼和旋翼两种：风筝的升空原理与滑翔机有一些类似，都是靠迎面气流吹动而产生向上的升力，但与固定翼的飞机有一定的差别；而旋翼机与竹蜻蜓却有着异曲同工之妙，都是靠旋翼旋转产生向上的升力而升空的。

机翼是怎样产生升力的呢？让我们先来做一个小小的试验：手持一张白纸的一端，由于重力的作用，白纸的另一端会自然垂下，将白纸拿到嘴前，沿着水平方向吹气，白纸不但没有被吹开，垂下的一端反而飘了起来。从流体力学的基本原理分析，流动慢的大气压强较大，而流动快的大气压强较小，白纸上面的空气被吹动，流动较快，压强比白纸下面不动的空气小，因此将白纸托了起来。

对于固定翼的飞机，在空气中以一定的速度飞行时，根据相对运动的原理，机翼相对于空气的运动可以看作是机翼不动，而空气气流以一定的速度流过机翼，空气的流动在日常生活中是看不见

的，但低速气流的流动却与水流有较大的相似性。当水流以一个相对稳定的流量流过河床时，在河面较宽的地方流速慢，在河面较窄的地方流速快。流过机翼的气流与河床中的水流类似，由于机翼一般是不对称的，上表面比较凸，下表面比较平，流过机翼上表面的气流类似于较窄地方的流水，流速较快、压强较小；而流过下表面的气流则类似于河面较宽地方的水流，速度较慢、压强较大。大气施于机翼下面的压力大于施于机翼上面的压力，二者的压差就形成了飞机的升力。

升力

升力是飞机的空气动力合力在纵向对称平面上、垂直于飞行速度方向的分力，向上为正。只有飞机和空气之间有相对速度时才产生升力。机翼是产生升力的主要部件。空气流过机翼上下表面且迎角为正时，上翼面的流速比下翼面的大，从而使上翼面的压力比下翼面的小，上、下翼面产生的压力差形成托举机翼及飞机的升力。飞机的其他部件如机身、尾翼等，也会产生部分升力。

飞机的升力绝大部分是由机翼产生的，尾翼通常产生负升力，飞机其他部分产生的升力很小，一般不考虑。空气在机翼前缘分成上、下两股气流，分别沿机翼上、下表面流过，在机翼后缘重新汇合向后流去。机翼上表面比较凸出，空气流速加快、压力降低；而机翼下表面气流受阻挡作用，流速减慢、压力增大。于是机翼上、下表面出现了压力差，垂直于相对气流方向的压力差的总和就是机翼的升力。这样重于空气的飞机借助机翼上获得的升力克服自身的重力，翱翔在蓝天上了。

机翼升力的产生主要靠上表面吸力的作用，而不是靠下表面正压力的作用，一般机翼上表面形成的吸力占总升力的60%～80%，下表面的正压形成的升力占总升力的20%～40%。

影响升力和阻力的基本因素有机翼在气流中的相对位置（迎角）、气流的速度和空气密度以及其他飞机本身的特点（飞机表面质量、机翼形状、机翼面积、是否使用襟翼、前缘翼缝是否张开等）。

在飞行速度等其他条件相同的情况下，得到最大升力的迎角，

叫做临界迎角。在小于临界迎角范围内增大迎角，升力增大；超过临界迎角后，再增大迎角，升力反而减小。

飞行速度增大，升力、阻力也同时增大。升力、阻力与飞行速度的平方成正比，即速度增大 2 倍，升力和阻力增大 4 倍；速度增大 3 倍，升力和阻力增大 9 倍。空气密度大，空气动力大，升力和阻力自然也大。空气密度增大 2 倍，升力和阻力也增大 2 倍，即升力和阻力与空气密度成正比。

机翼面积大，升力大，阻力也大。升力和阻力都与机翼面积的大小成正比。机翼切面形状、相对厚度、最大厚度位置、机翼平面形状、襟翼和前缘翼缝的位置、机翼结冰，都对升力、阻力影响较大。

阻力

阻力是飞机的空气动力合力在纵向对称面内、平行于飞行方向的分量。要维持飞行器持续飞行，飞机的动力装置必须产生足够的推力或拉力，用以克服阻力。显然，减小阻力对提高飞行速度、节约燃油是有利的。当需要飞机尽快减速时，增加阻力又是必要的。

飞机在空气中飞行会有各种阻力，按阻力产生的原因，可分为摩擦阻力、压差阻力、诱导阻力和干扰阻力。

⑴ 摩擦阻力：空气的物理特性之一就是黏性。当空气流过飞机表面时，由于黏性，空气同飞机表面发生摩擦，产生摩擦阻力。摩擦阻力的大小，决定于空气的黏性、飞机的表面状况以及同空气相接触的飞机表面积。空气黏性越大，飞机表面越粗糙，飞机表面积越大，摩擦阻力就越大。

⑵ 压差阻力：人在逆风中行走，会感到阻力的作用，这就是一种压差阻力。这种由前后压力差形成的阻力叫压差阻力，飞机的机身、尾翼等部件都会产生压差阻力。

⑶ 诱导阻力：升力产生的同时还对飞机附加了一种阻力。这种因产生升力而诱导出来的阻力称为诱导阻力，是飞机为产生升力而付出的一种“代价”。

⑷ 干扰阻力:它是飞机各部分之间因气流相互干扰而产生的一种额外阻力。这种阻力容易产生在机身和机翼、机身和尾翼、机翼和发动机舱、机翼和副油箱之间。

由俄罗斯“埃金皮”航空股份公司设计的一种“飞碟”状航空器,目前正在萨拉托夫飞机工厂试制。这种航空器的机身是一个铁饼似的圆盘,两侧有很短的机翼,后部有向外倾斜的双垂尾。所有的客货以及发动机和机载设备,都装在上凸的盘舱内。升力和阻力是飞机在空气之间的相对运动中(相对气流)产生的。这种“飞碟”状航空器集边界层控制、矢量控制和气垫技术于一身,并具有低阻高升、动力操控、垂直或短距起落的功能。总体布局也颇具特色,采用的是小展弦比下单翼、大升力体、“V”形尾翼和滑橇式起落架总体布局。该飞行器与飞机的最大区别是取消了传统的机身,代之以翼化的飞升体。

小展弦比机翼常用在现代高速飞机上,对减小飞行阻力,尤其是激波阻力,提高飞行速度有利。在该升力体飞行器上采用小展弦比机翼,可以减小诱导阻力,同时还可在翼面上设置副翼进行操纵。

该飞行器的动力装置安置在飞升体两侧内的动力舱中,而不是像翼吊发动机暴露在外面,可使飞升体的外形具有更好的流线,以减小气动阻力。同时动力装置工作时产生的抽吸效应扩大了飞升体的压差,有助于提高升力。

推力

气流作用在发动机内、外表面上作用力的合力,即发动机所产生的推动力。气体经过喷气发动机时,喷入燃料,燃料燃烧产生的热能使燃气的动能增大,以高速喷出。当发动机的排气速度 V_C 大于飞机的飞行速度 V 时,说明发动机给气体在加速方向(反飞行方向)以作用力,而气体则给发动机在飞行方向以反作用力,即推力。

早期的活塞式航空发动机,汽油在气缸里燃烧,释放热量,使空气膨胀做功,带动曲轴转动,实现了由热能向机械能的转换。为使机械能再转换为推力,还要有“推进器”,如螺旋桨,桨叶把空气

需要全本请访问 www.ertongbook.com

拨向后面，拉动飞机前进。

喷气式航空发动机，若把喷管去掉，就成了一个燃气发生器。喷管就是推进器，使燃气高速向后喷出，得到向前的反作用推力。

对航空发动机性能的主要要求是推力要大、耗油要少。航空发动机新技术，就是改进动力机和推进器的新技术。改进动力机，就要增加热量与提高热量利用率（即提高增压比）并减少热力损失；改进推进器，就要提高推进效率（即降低排气速度，减少带走的能量）和减少推进损失。代表航空发动机新技术方向的是美国的几个著名计划，如核心机—先进涡轮燃气发生器计划，发动机的基本性能集中反映在推重比，即推力与重量之比上。发动机的推重比是发动机的核心部件——压缩器、燃烧室与涡轮的“三高”（高压、高温、高转速）的结果。该计划主要发展三大核心部件，这三大核心部件技术的综合效果是使航空发动机的推重比大大提高，所以也称“高推重比技术”。目前，军用航空发动机的推重比已达 10 左右，正向推重比 20 的目标前进。

速度

飞机的飞行速度通常用声速（海平面上为每小时 1 200 千米）为界线，飞机飞行速度低于或高于声速的叫做亚声速或超声速。以声速的 5 倍为界线，飞行速度超出这一界线者被称作“高超声速”飞机。

1903 年 12 月 17 日，美国莱特兄弟发明的带动力装置“飞行者”1 号试飞成功。第一次由弟弟奥维儿·莱特驾驶，飞行距离 36 米，留空 12 秒；最后一次由哥哥驾驶，飞行距离 260 米，留空时间 59 秒。这是人类航空史上公认的可操纵动力持续飞行。飞机在随后的 100 多年中迅速发展，飞行速度、飞行高度和续航能力迅速超过了鸟类。

要提高飞行速度，除了改变飞机的气动外形，减小飞机在空气中飞行时所受到的阻力外，最重要的方法是提高飞机发动机的效率，使飞机在飞行中获得更大的推力。

飞机出现后的最初 10 多年，它基本上是一种娱乐工具，主要

用于竞赛和表演。第一次世界大战爆发后，这个“会飞的机器”逐渐被派上了用场。同时在战争中，飞机的性能有了很大的提高。如飞机的速度在1914年时一般是每小时80～115千米，4年后增至每小时180～220千米 到了第二次世界大战时优秀战斗机的速度达到每小时600～700千米，当时的飞机主要还是活塞式飞机。

第二次世界大战以前的航空器是活塞式飞机一统天下的局面。活塞式发动机结构相对简单，技术要求不高，而且耗油率低，能很好地满足当时低速飞行的要求。但随着飞机速度的不断提高，活塞式发动机暴露出了致命的弱点——功率太低，无法为飞机在高速飞行时提供足够的推力。到1945年，空气动力学家和飞机设计师们清楚地认识到，要靠活塞式发动机进一步提高飞行速度是不可能了，他们把注意力转移到一种全新的航空发动机——喷气发动机上，从而迎来了超声速飞行时代。

第二次世界大战期间，活塞式发动机、螺旋桨飞机的速度已经发展到巅峰。因为当时的空战主要是以机炮和机枪作为武器，谁的速度快，谁就能抢到有利空域赢得胜利，所以当时的飞机设计师和飞行员一再追求飞行速度。美国飞行员耶格尔驾驶时速700多千米的“野马”式战斗机与德国战斗机作战时，还感到速度低，所以他经常采用先把战位拉高，然后俯冲，借助重力加速度提高飞行速度的战术与敌机作战。

喷气发动机和喷气飞机则是二次世界大战中航空科技的一项伟大成就，使得飞机速度有了大幅度的提高。真正参战的首批喷气式飞机是德国的塞梅施米特Me-262，时速为850千米，超过当时英美飞机时速约160千米，在速度上占有很大优势。但由于德国统帅部决断错误，只把它作为轰炸机使用，加上数量少、参战晚，所以未对战局产生重大影响。

美国的F-80俗名“油桃子”，1944年原型机首次试飞，最大速度达810千米/小时，在当时是最高速度。1951年11月8日，F-80与米格-15交火，是喷气战斗机的首次近交战。F-80生产有A、B、C 3种型号，C型机总重7 646千克，最大平飞速度975千米/小时。

1967年10月，美国X-15实验型飞机在火箭发动机的驱动下，



创造了 6.7 马赫（即 6.7 倍于声速）的飞行速度记录。

2005 年美国航天局一架经过改装的 B-52 型轰炸机从洛杉矶的爱德华兹空军基地起飞，机腹下方悬挂的 X-43A 型超声速实验飞行器。在到达太平洋上空 1.2 万米高度后，这架 3.65 米长、翼展 1.5 米的小飞行器脱离了 B-52，在助推火箭的推动下用了大约 90 秒冲到 3.3 万米高空。然后助推火箭脱离，飞行器上的超声速燃烧冲压式喷气发动机点火。在保持了大约 20 秒的 9.6 马赫（即 9.6 倍声速）飞行速度后，X-43A 开始失速坠落，按预定计划落入太平洋。

目前，全球使用一般空气助燃的涡轮喷气引擎的飞机中，飞得最快的是美国空军的 SR-71“黑鸟”侦察机，速度可达 3 马赫。科学家认为，配备冲压喷气引擎的飞机，速度几乎有无限的可能，但应用该技术的飞行器要多年以后才能面世。

马赫数与音速

音速也称声速，物理学上指声波在介质中传播的速度。在空气动力学中，声速是一个十分重要的物理量。气体的流动规律和飞机的气动力特性，在流速（或飞行速度）低于声速和高于声速时大不相同。

第二次世界大战后期，战斗机的最大速度已超过每小时 700 千米。要进一步提高速度，就碰到所谓的声障问题。声音在空气中传播的速度，受空气温度的影响，数值是变化的。飞行高度不同，大气温度会随着高度而变化，因此当地声速也不同。在 101 千帕（1 标准大气压 = 101 千帕）情况下，海平面音速为每小时 1 227.6 千米，在 1.1 万米的高空是每小时 1 065.6 千米。时速 700 多千米的飞机，迎面气流在流过机体表面的时候，由于表面各处的形状不同，局部时速可能比 700 千米大得多。当飞机再飞快一些，局部气流的速度可能就达到声速，产生局部激波，从而使气动阻力剧增。这种声障，曾使高速战斗机飞行员们深感迷惑。每当他们的飞机接近声速时，飞机操纵上都产生奇特的反应，处置不当就会机毁人亡。第二次世界大战后期，英国的“喷火”式战斗机和美国的“雷

电”式战斗机，在接近声速的高速飞行时，最早感觉到空气的压缩性效应。在高速飞行的飞机前部，由于局部激波的产生，空气受到压缩，阻力急剧增加。“喷火”式飞机用最大功率俯冲时，速度可达声速的9/10。这样快的速度，已足以使飞机感受到空气的压缩效应。为了更好地表达飞行速度接近或超过当地声速的程度，科学家采用了一个反映飞行速度的重要参数——马赫数。马赫数是飞行速度与当地声速的比值，简称M数。M数是以奥地利物理学家伊·马赫的姓氏命名的。马赫曾在19世纪末期进行过枪弹弹丸的超声速实验，最早发现扰动源在超声速气流中产生的波阵面，即马赫波的存在。M数小于1，表示飞行速度小于声速，是亚声速飞行；M数等于1，表示飞行速度与声速相等；M数大于1，表示飞行速度大于声速，是超声速飞行。

亚音速

小于声音的速度即为亚音速，又称亚声速。最大平飞速度低于音速的飞机称为亚声速飞机。一般亚声速飞机的最大平飞速度低于约750千米/小时（M=0.3～0.8），飞行速度低于400千米/小时的为低速飞机，M=0.8～0.9的为高亚声速飞机。亚声速飞机飞行速度低，平飞时的升力系数较大，而诱导阻力系数与升力系数的平方成正比。为尽量减少诱导阻力，亚音速飞机多采用大展弦比、平面形状为梯形或矩形的平直翼。多采用相对厚度较大和相对弯度较大，且带有钝头前缘的翼剖面。飞机在亚声速状态飞行时，升阻比（一定迎角下飞机升力与阻力，或升力系数与阻力系数之比）高，飞机的油耗低、经济性好。大多数民用飞机和军用运输机、轰炸机，都是亚声速或高亚声速飞机。

第二次世界大战后到60年代初是第一代战斗机的时代，主要技术特征是亚声速飞行，最大马赫数0.9左右，开始采用后掠翼和涡轮发动机，武器配备以机炮和火箭弹为主，并开始装备第一代空空导弹、光学瞄准器和第一代雷达。

第二次世界大战结束后的40余年，虽然世界性的大战再未爆发，但局部战争从未间断。军事上的需要是飞机发展的主要动力，

鉴于对飞机速度的需要，军用飞机迅速喷气化，战后各大国空军的主力机种都改为喷气发动机。最初的喷气式作战飞机都是平直梯形机翼，喷气发动机的推力也很小，单台推力只有 7 845～8 826 牛（800～900 千克）。1947 年出现了第一批机翼后掠的高亚声速喷气战斗机——前苏联的米格-15 和美国的 F-86“佩刀”式。朝鲜战争中，这两种喷气式战斗机厮杀较量，写下了空战史上新的一页。战斗机喷气化后，轰炸机也紧追直上。1951 年 12 月美国的 B-47 后掠翼喷气轰炸机试飞成功，接着又出现了大型四发动机的战略轰炸机B-52。B-52 经改进一直使用到 20 世纪 80 年代，最大航程可达两万余千米。

超音速

超过声音的速度即称为超音速（又称为超声速），最大平飞速度超过声速的飞机称作超声速飞机。一般指最大平飞马赫数超过 1.4，但低于 5 的飞机。超声速飞行时，由于气流产生激波而生成很高的波阻。为尽量降低波阻，飞机多采用小展弦比、平面形状为梯形或三角形的薄机翼。翼剖面采用相对厚度较小、近于对称的翼形。翼剖面的前缘半径很小，接近尖锐前缘。

超音速飞机多为军用飞机，当前大部分战斗机的马赫数在 2～2.5。超音速客机虽已开始商业使用，但因经济性差及对环境影响大，故未大量使用。

超声速飞机的诞生是在第二次世界大战之后。1953 年，美国 F-100“超级佩刀”式喷气战斗机平飞速度首次超过声速。50 年代中期，几种速度为声速 2 倍的喷气式战斗机问世。如前苏联的米格-21、美国的 F-4“鬼怪式”和 F-104。前两种飞机在越南战争中进行了反复的实战较量，后者在中东战场上崭露头角。60 年代，美、苏两国又发展了“双三”飞机，即速度为 3 倍声速、升限超过 30 千米，代表机型是美国的 SR-71“黑鸟”和前苏联的米格-25。

这期间，航空技术又有了新的突破，变后掠机翼飞机和垂直起落飞机研制成功，前者是美国的 F-111，后者为英国的“鹞”式。这两种飞机的出现，标志着军用飞机的发展又进入了一个新的阶段，

即由高速转向高机动性。F-111 和“鹞”式飞机在以后的美国空袭利比亚和英阿马岛之战中都有不俗的表现。

超声速飞机的机体结构，同亚声速飞机很不相同，机翼必须薄得多，关键因素是宽高比，即机翼厚度与翼弦的比率。亚声速的活塞式飞机，轰炸机的宽高比为 17%，歼击机是 14%；但对于超声速飞机，厚弦比就很难超过 5%，即机翼厚度只有翼弦的 1/20 或更小，机翼的最大厚度可能只有十几厘米。超声速飞机的翼展（即机翼两端的距离）不能太大，而是趋向于较宽较短、翼弦增大。设计师们将机翼做成三角形，前缘的后掠角较大，翼根很长，从机头到机尾同机身相接（如幻影-2000）。另一个办法，把超声速机翼做得又薄又短，可以不用后掠角（如F-104）。

根据一架飞机的外形，我们就基本上可以判断出它是超音速，还是亚音速的飞机了。

音障

音障是把飞机飞行速度提高到超过声音速度时遇到的障碍。这是历史上出现的问题，现代超声速飞机的飞行速度早已超过音速了。20 世纪 40 年代，某些战斗机的最大飞行速度已达马赫数 0.5，俯冲时马赫数达到 0.7 以上，这时发现飞机的阻力激增、升力下降，产生很大的俯冲力矩，机翼和尾翼出现抖动，因此再提高飞机的飞行速度就十分困难。

造成声障（又称音障）的原因，主要是因为飞机上出现了局部超音速区，出现了激波，使气流严重分离、阻力剧增。解决这一问题的办法，是采用后掠翼等先进气动布局，进一步加大发动机推力。飞机在空中飞行，会与空气发生摩擦，空气受到阻滞和压缩，流速降低，动能转化为热能，使飞机表面加热。如马赫数 3 时，机头温度可上升到 360 ，会使蒙皮和结构变形，仪表设备失灵，燃料蒸发或易燃等，从而成为影响飞机速度提高的一个障碍。

第二次世界大战后期，飞行速度达到了 650～750 千米/小时的战斗机，已经接近活塞式飞机飞行速度的极限。例如美国的 P-51D“野马”式战斗机，最大速度每小时 765 千米，大概是用螺旋桨

需要全本请访问 www.ertongbook.com

推进的活塞式战斗机中飞得最快的了。若要进一步提高飞行速度，必须增加发动机推力，但是活塞式发动机已经无能为力。航空科学家们认识到，要向音速冲击，必须使用全新的航空发动机，也就是喷气式发动机。

要继续提高飞机的飞行速度，就必须突破声障。为了突破声障，一是采用推力足够大的喷气式发动机；二是采用后掠翼，尽量让局部超声速区延迟发生。此外，还采用蜂腰形的机身，因为跨声速飞机的横截面积分布与阻力有关，这样可以尽量减小飞机阻力。超声速飞机的速度已经超过声速，产生激波已不可避免，所能采取的办法就是如何降低激波强度、减小波阻。为此，超声速飞机通常采用三角翼或小展弦比梯形机翼，这种机翼高速飞行时波阻小；一般采用细长机身，发动机均埋装在机身之内或翼身之间。

1947 年 10 月 14 日，查尔斯耶格尔驾驶美国贝尔公司生产的 X-1 在 12 800 米的高空进行了一次艰难的飞行，飞行速度达到 1 078千米/小时，相当于 1.015 马赫，首次突破了声障，成为世界上第一个飞得比声音快的人，他的名字被载入航空史册。

在人类首次突破声障之后，研制超声速飞机的进展就加快了。美国空军和海军在竞创速度记录方面展开了竞争。1951 年 8 月 7 日，美国海军的道格拉斯 D. 558-Ⅱ型“空中火箭”式研究机的速度，达到 M1.88。有趣的是，X-Ⅰ型和 D. 558-Ⅱ型，都被称为“空中火箭”。D. 558-Ⅱ也是以火箭发动机为动力，由试飞员威廉·布里奇曼驾驶。8 天之后，布里奇曼驾驶这架研究机，飞达 22 721 米的高度，使他成为当时不但飞得最快，而且飞得最高的人。在 1953 年，“空中火箭”的飞行速度，又超过了 M2.0，约为 2 172 千米/小时。

人们通过理论研究和一系列研究机的飞行实践，终于掌握了超音速飞行的规律。高速飞行研究的成果，首先被用于军事上，各国竞相研制超声速战斗机。1954 年，前苏联的米格-19 和美国的 F-100“超级佩刀”问世，这是两架最先服役的、仅依靠本身喷气发动机即可在平飞中超过声速的战斗机。1958 年，F-104 和米格-21 又将这一记录提高到了 M2.0。尽管这些数据都是在飞机高空中

加力全开的短时间才能达到，但人们对追求这一瞬间的辉煌还是乐此不疲。将“高空高速”这一情结发挥到极致的是两种“双三”飞机——米格-25 和 SR-71，它们的升限高达 3 万米，最大速度则达到了惊人的 M3，已经接近了喷气式发动机的极限。随着近年来实战得到的经验发现“高空高速”并不适用，这股热潮才逐渐冷却。

热障

热障是飞行器在大气层中的飞行速度超过一定马赫数时，因气动加热引起结构和材料变化而遇到的障碍。飞行速度越高，气动加热越严重。机体温度升高引起材料性能下降，使结构强度和刚度降低 在结构中产生热应力，使结构应力和变形增大，甚至出现蠕变 结构变形增大，气动外形受到破坏，甚至引起灾难性的颤振，最终可能导致结构破坏 环境温度升高，乘员不能忍受，设备失去正常功能。

热障是在飞机速度不断提高的发展过程中，出现音障以后提出来的。一般声障是指声速附近所存在的障碍，而热障则是随速度进一步提高逐渐严重的热现象，并不指特定速度。通常对于飞行速度超过 M2.5 的飞机，在设计时必须考虑防热措施，如采用耐热材料、加装隔热层、安装冷却系统等。

热障是在研制 3 倍音速飞机的过程中遇到的问题。当飞机高速飞行的时候，飞机表面与空气产生摩擦，使空气发生阻滞和压缩，飞机的速度大为降低，动能转化为热能，飞机表面的温度急剧升高，这就是所谓的热障。

根据理论估算，在高度超过 1.1 万米的高空飞行时，当飞机的马赫数为 2 的条件下，飞机头部的温度可能达到 118 ；当马赫数为 2.5 的时候，温度可高达 215 ；当马赫数为 3 时，温度可达 335 。因此，高速飞行时，由于气动加热，机内人员、设备以及材料的强度等方面，都会受到严重的影响与限制。现在一般将马赫数 2.5 以上看作是出现热障的飞行速度。

解决热障问题有两种方法 使飞机的飞行速度不进入热障，给进入热障的飞机加防热罩。铝合金材料制造的飞机可承受的气动

加热一般不超过 M2.2，所以到目前为止，世界上实用型的超声速飞机大多数都控制在 M2.2 速度以内，这样可以充分发挥飞机的结构效率。如果把飞行速度再提高，气动加热就会使飞机进入热障了。因此，必须对飞机的气动力设计及材料、结构、动力和机载设备都要重新设计，目前能在热障条件下飞行的飞机不多。耐高温的钛合金及隔热装置、冷却系统的应用，使美国的 SR-71 和前苏联的米格-25 实现了 3 倍音速的梦想。



第二章

航 空 运 输

一、航空运输基础

航空

航空，指人类利用载人或不载人的航空器在地球大气层中从事飞行及有关的活动，有时也泛指航空工程（表 1）。

航空器都要克服自身的重力，才能达到升空的目的。轻于空气的航空器如气球、飞艇，利用空气静力升空；重于空气的航空器如飞机、直升机，则利用空气动力升空。航空按用途分为军用航空和民用航空。

航空与航天是 20 世纪人类认识和改造自然进程中最活跃、最有影响的科学技术领域，也是人类文明高度发展的重要标志。“航空”和“航天”虽只有一字之差，但却差了“一重天”。航空指飞行器在地球大气层内的航行活动，航天指飞行器在大气层外宇宙空间的航行活动。航空所指的飞行器有轻于空气的飞行器（如气球、飞艇等）和重于空气的飞行器（如飞机、直升机、滑翔机、伞翼机等），它们不会飞离地球。航天又称“星际航行”，飞行器称为外层空间飞行器，如人造卫星、宇宙飞船、航天飞机等。“航天”与“航空”同属高科技产业，而且又有许多相近、相通的因素。

表 1　　航空大事记

1783 年 11 月 21 日	法国的罗齐尔和达尔朗德乘蒙特哥菲兄弟发明的热气球第一次升上天空，开创了人类航空的新时代。
1783 年 12 月 1 日	法国的查尔斯和罗伯特首次乘氢气球升空。
1785 年 6 月 15 日	法国的罗齐尔和罗曼乘氢气和热气的混合气球在飞越英吉利海峡时，气球着火爆炸，二人成为人类第一次航空事故的牺牲者。
1852 年 9 月 24 日	法国的季裴制成第一艘软式飞艇。
1900 年 7 月 2 日	德国的齐伯林“LZ-1 号”硬式飞艇首次在博登湖上空试飞成功。
1903 年 12 月 17 日	美国的莱特兄弟发明的带动力装置的飞机第一次试飞成功，在 59 秒内飞行了260 米。
1908 年 9 月 17 日	美国的塞普里金乘坐威尔伯·莱特驾驶的飞机坠落，成为第一次飞机事故的牺牲者，威尔伯·莱特身负重伤。
1910 年 10 月 31 日	法国的费勃成功地解决了水上飞机的起降问题，制成世界上第一架水上飞机。
1911 年 2 月 8 日	世界第一次运载航空邮件。法制“索默”双翼飞机携带 6 500 封信，由印度的阿拉哈巴特到达 8 千米外的奈尼。
1915 年 5 月 31 日	德国的齐伯林“LZ-38 号”飞艇首次夜袭伦敦，是世界上第一次空袭。
1919 年 8 月 25 日	第一条由英国伦敦到法国巴黎的民用航线通航，所用的 DH-16 双翼机可载 4 名旅客。
1923 年 6 月 26 日	美国的史密斯和里比德各驾驶一架 DH-4B 双翼机，用输油胶管进行了世界上的第一次空中加油。
1929 年 8 月 8 日 ~ 8 月 29 日	德国的“齐伯林伯爵号”飞艇环球飞行成功，航程 31 400千米，历时 21 天 7 小时 26 分钟。

1937 年 5 月 6 日	世界上最大的飞艇、德国的“兴登堡号”着火爆炸，36 人牺牲，从而导致了飞艇的衰落。
1939 年 8 月 27 日	世界上第一架喷气式飞机、德国的亨克尔公司制造的 He178 试飞成功。
1947 年 10 月 14 日	由 B-29 母机投放的 X-1 火箭飞机首次突破音速飞行，驾驶员为美国的查尔斯·耶格。
1949 年 2 月 26 日～3 月 2 日	第一次不着陆环球飞行成功，美国的盖莱合尔等人驾驶 B-50 轰炸机历时 94 小时零 1 分钟，航程 37 734千米，途中进行了 4 次空中加油。
1952 年	英国海外航空公司进行了第一次运送乘客的飞行，有 36 名乘客搭乘该公司飞机从英国伦敦到达南非的约翰内斯堡。
1954 年 8 月 1 日	新中国的第一架飞机——雅克-18 初级教练机试制成功。
1961 年 11 月 9 日	英国的“SUMPAC 号”（塞桑普顿大学号）人力飞机首次实现了自力飞行，飞行距离 64 米。
1973 年 12 月 6 日	英国和法国联合研制的世界上第一架超音速旅客机“协和”客机试飞成功，最大速度为 2 333 千米/小时。
1976 年 1 月	“协和”超音速飞机正式投入航线运营。
1977 年	两架波音 747 客机（一架属荷兰皇家航空公司，一架属美国泛美航空公司）在加那利群岛的圣克鲁斯—德特内里费上空相撞起火，共 583 人死亡，是世界上最严重的空难。
1997 年 5 月	世界首家也是最大的一家航空联盟——“星空联盟”成立，航空网络遍布 124 个国家的 729 个目的港。

需要全本请访问 www.ertongbook.com