

# 飞行的科学

徐华勋



科学出版社

# 飞 行 的 科 学

徐 华 舫

科 学 出 版 社

1 9 7 8

## 内 容 简 介

本书是一本介绍飞行原理的科学普及书籍，全书共分十六章，从基本的气流现象开始，讲述了飞机为什么会升空，其举力是怎样产生的等道理。也介绍了飞机由低速发展到跨音速、超音速和高超音速时出现的一些问题及目前解决的办法，最后还介绍了气垫车及鸟类的飞行。

本书可供具有初中文化程度的广大工农兵和知识青年阅读。

## 飞 行 的 科 学

徐 华 舫

\*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1978年4月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1978年4月第一次印刷 印张：3 3/4 插页：1

印数：0001—118,200 字数：71,000

统一书号：13031·695

本社书号：1003·13—2

定 价： 0.32 元

## 前 言

2

飞机不仅在现代国防上有十分重要的作用,而且,也是一种十分有用的交通工具。随着科学技术的发展,飞机的用途也变得越来越广泛。在农业上,用它来撒药、播种、施化肥;在林业上,用于防火巡逻、森林灭火、荒山绿化;也可用它来探矿、航测、救护、运送鱼苗、牲畜良种等等。飞机在现代化的运输工具中,它所占的比重正在与日俱增,现在人们对飞机飞行的常识的了解,也越来越有兴趣。本书就是介绍飞机为什么会飞等这些最基本的飞行科学常识的。

飞机,自本世纪初开始成为重要的飞行工具以来,技术发展惊人。早期的飞机支杆纵横,骨架全露,摇摇晃晃勉强能飞离地面,随着科研和工业技术水平的提高,如今的飞机不仅结构坚固紧凑,机型新颖,操纵自如,平稳安全,而且其载重量之大(载重达一百多吨,总重达三百多吨)、速度之快(超过音速几倍)也是前人望尘莫及的。今天的飞机是当代工业高度发展的尖端产品,也是许多门科学技术深入发展的结晶。

全书分十六章,通过对最基本的气流现象的分析,讲述飞机飞行中的力学(空气动力学)原理,介绍低速飞行原理及超音速飞行原理,使读者对飞机飞行的本质有一个概括的了解。同时,对其它问题,如螺旋桨、直升机、颤振、气垫车等也做了一些扼要的介绍。如有不妥之处,请读者批评指正。

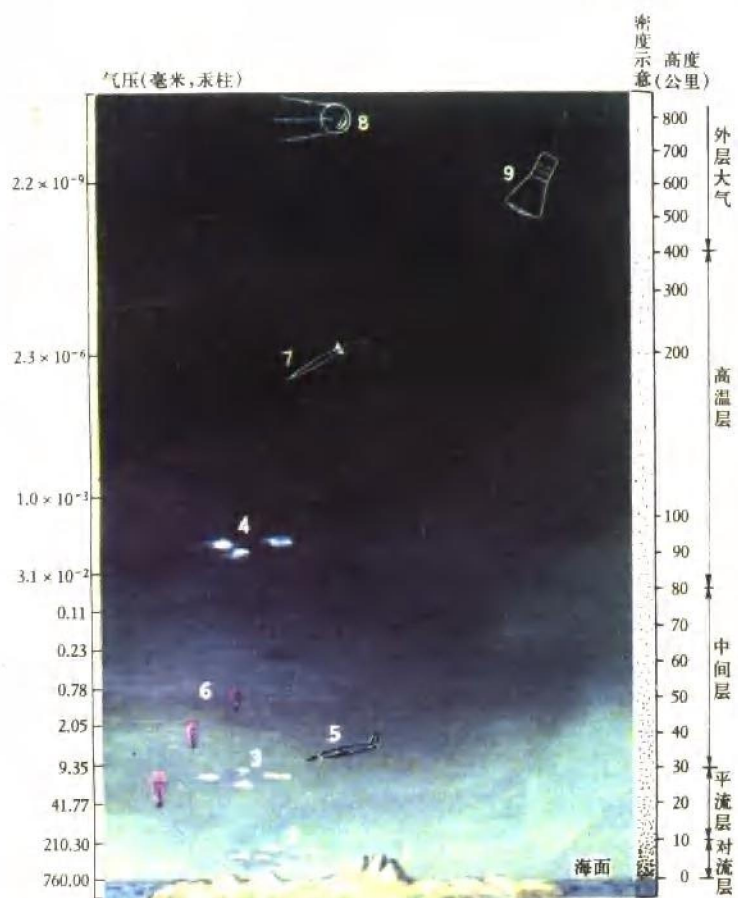


图1 大气构造图

1. 珠穆朗玛峰(8882 米) 2. 卷云(8—15 公里) 3. 珍珠云 4. 银光云(82 公里)
5. 现代飞机(30 公里) 6. 探测气球(36—40 公里) 7. 探测火箭(150—200 公里)
8. 人造地球卫星 9. 宇宙飞船(回返地球)

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 前言 .....                 | iv |
| 一 略谈大气层 .....            | 1  |
| 二 从热气球到飞艇 .....          | 3  |
| 三 当空气流动时 .....           | 6  |
| 深入地了解流动过程 .....          | 7  |
| 速度和压强的关系 .....           | 9  |
| 飞机升空的秘密 .....            | 11 |
| 四 举力的其他细节 .....          | 16 |
| 速度、密度、翼面积和冲角 .....       | 16 |
| 飞机怎样在各个高度上用不同的速度飞行 ..... | 19 |
| 为什么机翼剖面是圆头尖尾的 .....      | 22 |
| 顺风好还是逆风好 .....           | 23 |
| 五 飞行阻力 .....             | 24 |
| 摩擦阻力 .....               | 25 |
| 压差阻力 .....               | 26 |
| 诱导阻力 .....               | 31 |
| 六 力争减小阻力 .....           | 34 |
| 从双翼到单翼 .....             | 34 |
| 罩起来，收起来 .....            | 35 |
| 在表面摩擦上打主意 .....          | 36 |
| 七 飞行中力和力矩的平衡 .....       | 40 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 平飞 .....             | 40 |
| 爬升、下滑和俯冲 .....       | 41 |
| 尾翼 .....             | 43 |
| 副翼 .....             | 45 |
| 全翼无尾飞机为什么也能平衡 .....  | 46 |
| 八 防止颤振 .....         | 48 |
| 飞机上振动的类型 .....       | 48 |
| 耦合和颤振 .....          | 49 |
| 防止颤振的方法 .....        | 51 |
| 九 音速在飞行上的重要地位 .....  | 52 |
| 音速 .....             | 53 |
| 亚音速和超音速的划分 .....     | 54 |
| 十 超音速气流的压缩和膨胀 .....  | 57 |
| 冲激波 .....            | 57 |
| 膨胀波 .....            | 60 |
| 十一 跨音速时飞机性能的恶化 ..... | 62 |
| 跨音速飞行的难题 .....       | 62 |
| 克服困难的办法 .....        | 65 |
| 跨音速面积律 .....         | 67 |
| 超临界翼型 .....          | 68 |
| 十二 超音速飞行 .....       | 70 |
| 超音速飞机的翼型 .....       | 70 |
| 机翼的平面形状、起飞降落问题 ..... | 74 |
| 平衡、稳定和操纵 .....       | 79 |
| 高超音速飞行 .....         | 80 |
| 超音速飞行对居民的影响 .....    | 82 |
| 十三 螺旋桨 .....         | 85 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 变转矩为拉力 .....         | 85  |
| 变距桨和恒速桨 .....        | 88  |
| 反桨和顺桨 .....          | 90  |
| 共轴双层桨 .....          | 92  |
| 十四 直升机 .....         | 95  |
| 直升机怎样腾空 .....        | 95  |
| 直升机怎样前进 .....        | 96  |
| 尾桨 .....             | 100 |
| 直升机的无动力下降 .....      | 101 |
| 十五 气垫车 .....         | 103 |
| 十六 鸟是怎样飞的 .....      | 106 |
| 翱翔 .....             | 106 |
| 扑翼飞行 .....           | 107 |
| 鸟的起飞、降落和其他飞行环节 ..... | 110 |
| 人能不能展翅飞翔 .....       | 112 |



## 一 略谈大气层

我们周围的大气,有人说很象海洋,这只是一种比喻,并不确切。我们知道,海底的水和海面的水,其密度基本上是一样的;而大气层则不同,越到上空,空气就越稀薄,逐渐过渡到接近真空。

大气层的厚度,一般地说有三、四百公里,并可划分为四、五层。

空气稠密的底层叫做对流层,这层里大气有上下对流,雷和雨等现象都发生在这一层里。这一层的厚度,在赤道上空约为 16—18 公里,在两极约为 7—10 公里,在中纬度地带约为 11 公里。这一层并不厚,只占大气层总厚度的  $\frac{1}{30}$  左右,但空气的质量却占总大气质量的  $\frac{3}{4}$ 。在这一层里,大气的温度随高度上升而下降,每升高一公里,温度下降  $6.5^{\circ}\text{C}$ 。现在的飞机虽然可以飞高到 30 公里以上,但中短程的民航机仍以在对流层中飞行为主。

对流层以上到 32 公里为止,叫平流层,大气只有水平方向的流动。这一层中的空气质量约占总大气质量的  $\frac{1}{4}$ ,大气的温度几乎不随高度而变,温度约为  $-56^{\circ}\text{C}$ 。这一层里没有雷、雨等干扰,是飞机飞行的好地方,远程客机一般都在平流层中飞行。

平流层以上，依次是中间层，高温层和外层空间(参看图1);这些层中，空气极为稀薄，其空气只占总大气质量的1/3000。高温层以上是人造地球卫星活动的场所。

## 二 从热气球到飞艇

人们在生活实践中知道,热空气比空气轻,热气会自动上升。利用空气的这种性质,就可以做成能升空的气球。我国民间有一种玩具叫“孔明灯”,那是一种用薄纸糊成的球形灯罩,上端不开孔,底下有一个竹篾的架子,在架上的纸盘(一般用不易燃的纸)中放一些易燃的东西,点燃后,热气就能使整个纸球升空。使纸球(物体)上升的这个力,叫做空气的浮力,也叫空气静力。

描述空气浮力的物理定律是阿基米德原理。这条原理告诉我们,任何物体在空气中都会得到空气的浮力,浮力的大小等于该物体所排除的air的重量。物体在空气中能不能浮起来,那就要看同样大体积,是物体的重量大,还是空气的重量大;或者说,是物体重还是同体积的空气重。一般物体比起空气来总是要重得多,不仅浮不起来,连浮力的作用都不会觉察到。如一个体重 65 公斤的人,他的体积约为 0.07 立方米,而地面上的空气每立方米约重 1.225 公斤,则这个人受到空气的浮力只有 0.086 公斤,只是体重的千分之一左右,当然不会有浮力的感觉。

将比空气还轻的气体密封起来,做成气球,就能浮入空中,甚至还可以带人载物。物体在空气中上浮和在水中浮起,

有一点是不同的：在水中，凡是比水轻的物体必定要浮到水面，而在空气中，原来比空气轻的物体它上升到一定的高度就会停止；因为大气的密度随高度而下降，总会有一个高度，在那里空气的浮力等于物体重量的。

人类飞行的理想，是从气球开始实现的。初期的气球不能操纵，任凭风的摆布。

怎样使气球能随人的意志移动？最初的办法是“划船”——以大而长的扇子作“桨”，用人力来划进（见图2）。约70年

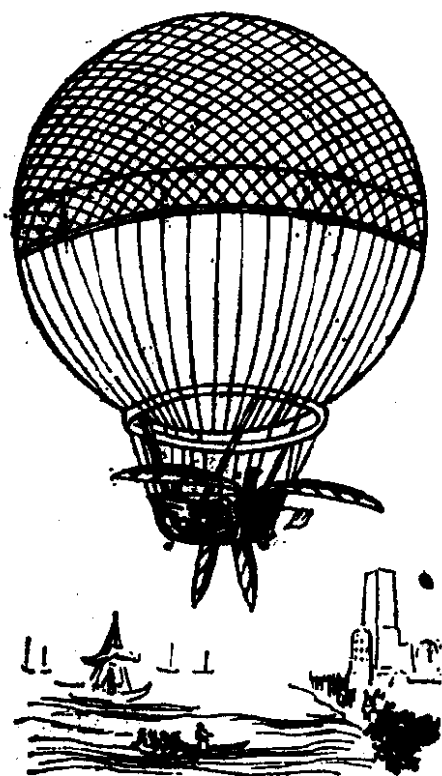


图2 1785年横渡英吉利海峡的气球，用人力“划进”

后，才出现了一个装有三马力蒸汽机的气球，用蒸汽机带动一个螺旋桨产生推进力，达到每小时10公里的飞行速度。没有前进速度，我们没法用舵来操纵方向，正象浮在水面上不动的船无法用舵来操纵一样。有了前进速度就可以用舵来操纵方向。从此，人类开始了有动力的可操纵的飞行。

有动力之后，前进速度大大的提高，阻力很大的圆形气球就不适应了，于是出现了飞艇（见图3）。飞艇与气球除外形不同之外，飞艇的尾部还安上了操纵方向用的竖舵和防止前后翻转的水平尾翼。

同样马力的内燃机比蒸汽机轻得多，更适于飞艇使用，内



图3 半硬式飞艇

1. 艇身 2. 客舱 3. 发动机和螺旋桨

燃机出现后,就被广泛地用来做飞艇的动力。随着内燃机马力的增大,飞艇的速度也越来越快。随着速度的加快,软气囊会变形,人们便设计出半硬式和全硬式的飞艇。硬式飞艇用铝做骨架,自然要沉重些,但艇身可以做得很大,仍能得到足够的浮力。硬式飞艇的容积,最大曾做到20万立方米(长248米,最大处的直径41.2米),它的总浮力约有245吨,能载重84吨,速度曾达135公里/小时。

二十世纪初期,飞艇曾盛行过一时,当时欧洲有到美洲飞艇的定期客运班次,1926年有人用飞艇从欧洲飞越北极到达美洲。第一次世界大战中,有些国家曾用它来进行侦察和执行轰炸任务。

但是,由于飞艇不灵活、造价贵、需要庞大的机库,而且安全性也差,在航空运输上已被淘汰;目前仅用在一些特殊的场合,如高空探察及山区运输木材下山等;还有,战时在海面上监视敌方潜艇活动也有它的独到之处。

### 三 当空气流动时

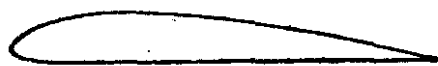
飞机在空中飞行为什么不掉下来，是与飞艇一样依靠浮力吗？不是。是靠空气流动时所产生的力(或空气不动，飞机向前运动时所产生的力)，这种力称为气动力。

最初试造飞机的人并不了解气动力，只是从风筝得到启发，知道比空气重的东西依靠风的力量可以升空。为了揭开升空的秘密，掌握气动力，人们不懈地作滑翔机的飞行试验，利用山坡迎风面的上升气流进行滑翔飞行。那时飞行原理和气动力方面的知识虽然积累得很少，但实践者却凭试验造出了能够飞行的飞机。

初期的飞机很不完善，机翼是模仿风筝造的，在骨架上蒙一层薄布或薄板，这种飞机常常突然倒栽下来。随着实践的

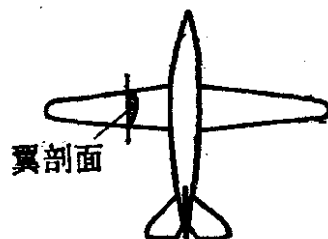


早期的机翼剖面



中期的机翼剖面

现在的低速飞机仍在使用



翼剖面

图4 机翼的剖面形状

深入和经验的积累,后来从理论上证明,要飞机不出事故,机翼的剖面形状应该是圆头尖尾的(见图4)。自从对飞行阻力的成因有了正确的了解之后,飞机的外形就得到不断地改进,使得飞机越飞越快。

## 深入地了解流动过程

这里讲的流动过程,就是指空气流过飞机时的情况,只有懂得了这种流动情况,才能了解作用在飞机上的气动力是怎样产生的。为了便于理解,先讲风吹过一座房子的情况。

假定在开阔的平地上,有不变的匀速风向房子吹来(见图5)。在房子的远前方,气流基本上不受房子的影响,那是和地面平行的水平气流,流速都相同,流线<sup>①</sup>都是平行的直线。那末,气流到房子跟前时,是不是被房子挡住的那部分气流都停止不流了呢?不是的,它会绕过房子,不会堆积在房子前面。但是,气流是相互牵连的,在这一段空间的气流里,有一处发生了变化,必然要牵扯到相当大的一片。设房子高6米,那么,从地面起6米高以内的气流虽然都受到房子的阻碍,但是并不停下来,它会从房子的上面和两侧绕过去。这一绕流,气流就起了变化,不仅6米以内的各条流线要改变方向、高度、流速,而且必然要挤开旁边的流线,被挤开的流线还要依次往

---

① 空气原是无色透明的东西,它流动的过程眼睛是看不见的,如果我们设法在上风头某处,每隔开一定的高度放置一个发烟器,这样烟就随着气流一起流动,我们就可以看见气流走过的路线了。这样的一条条气流的路线就叫做流线。

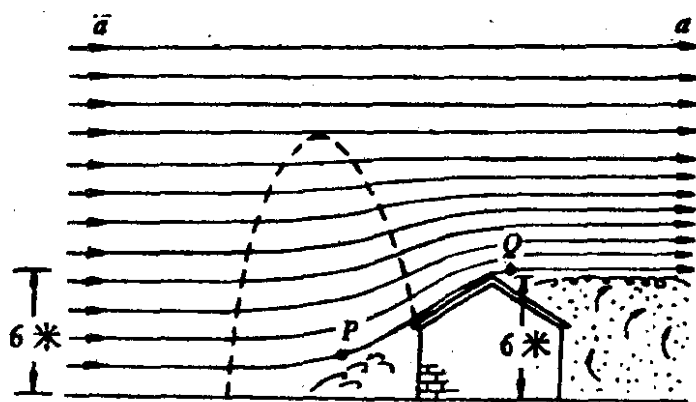


图 5 气流绕房而过

外挤，结果相当大的一片气流都起了变化。从图 6 我们可以看出，在气流通道上，由于房子的存在，气流通道的截面就要变窄。气流是不断地流动的，凡是从 1-1 截面流过去的气流，也必须从 2-2 截面流过去，就是说流过 1-1 截面的流量（即每秒若干立方米的空气）必等于流过 2-2 截面的流量。2-2 截面较 1-1 截面小，则气流流过 2-2 截面时的平均速度一定比 1-1 截面上的大。在观察流动时，我们发现 2-2 截面上的流速不是均匀的，离房子（即扰动物体）越近，气流的变化越强烈，离房子越远的地方，气流的变化越小，远到一定的距离，如到了 aa 流线处，气流基本上没有变化。

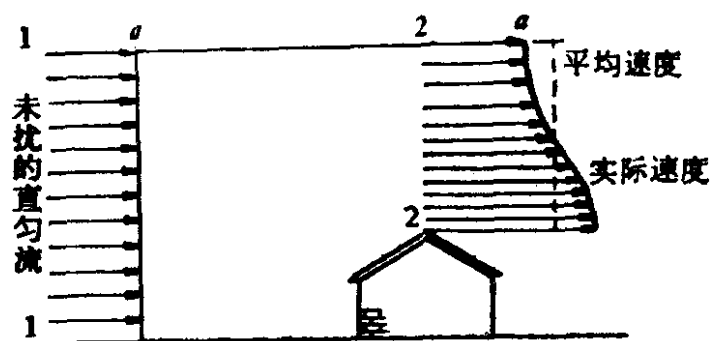


图 6 气流绕房时的变化



以上说的只是障碍物对气流的横向<sup>①</sup>排挤作用。此外,还有纵向的变化。气流受到房子的阻挡,虽然不会停下来,流速的大小却要发生变化,各条流线的变化虽不一样,但流速都是先下降,而后又上升,因此在房子前面会出现一个低速区,如图5中虚线划出的地区,到房子上方时,速度升高到比原来的还高。关于房子以后的变化情况,比较复杂,对于了解飞机的飞行关系不大,这里就不讲了。至于机翼后方的流动情况,讲飞行阻力时再谈。

## 速度和压强的关系

在静止大气里,只有一个大气的压强。这压强只随高度变化,在同一水平面上,压强是相等的。流动的气流,除了有这个压强之外,还有速度;速度与压强有一定的关系,还可以

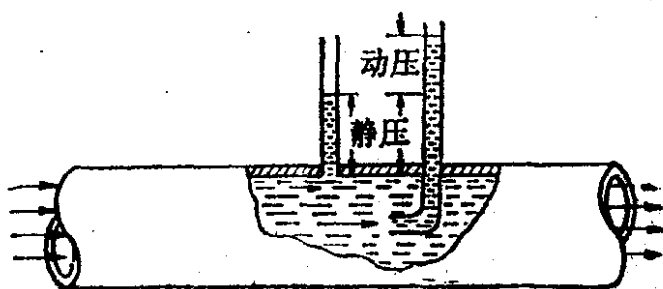


图7 水在直管里流动

互相转化,其关系可以由伯努利定律来确定。流速可以产生动压,动压与流体的速度平方成正比,其计算公式是:

<sup>①</sup> 横向,包括房子的上方和两侧;它是相对于纵向而言的,纵向是指气流未经扰动时的流动方向。