名师讲科技 MINGSHI JIANGKEJI QIANYAN XILIE

前沿系列

# 图解航空技术

TUJIE HANGKONG JISHU

田民波 编著



飞机为什么会飞?

飞机是如何实现操控的?

先进的飞机是什么样的?

飞机的安全如何保证?

乘坐飞机还安全吗?

化学工业出版社

名师讲科技
前沿系列

# 图解航空技术

TUJIE HANGKONG JISHU

田民波 编著

化学工业出版社
·北京·

《图解航空技术》内容包括航空技术入门，航空力学基础、飞机机体构造，发动机——推力和升力之源，航运安全系统高强轻质的飞机材料，显示飞机状态的航空仪表，直升机的原理与结构，我国的航空产业——自强不息、后来居上等9章，涉及飞机与航空技术的各个方面。

针对航空技术的入门者、应用者、研究开发者等多方面的需求，本书参考了相关的资料，采用图文并茂的形式，简明扼要地介绍了飞机的工作原理、相关材料、制作工艺、新进展、新应用及发展前景等。

本书可供航空航天领域相关的材料、机械、通信、精密仪器等领域专业人士参考。

**图书在版编目（CIP）数据**

图解航空技术 / 田民波编著. —北京：化学工业出版社，2019.3
（名师讲科技前沿系列）
ISBN 978-7-122-33687-3

Ⅰ. ①图… Ⅱ. ①田… Ⅲ. ①航空学-图解 Ⅳ. ①V2-64

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第005706号

责任编辑：邢 涛　　文字编辑：陈 喆
责任校对：王素芹　　装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）
印　　装：北京新华印刷有限公司
880mm×1230mm　1/32　印张61/4　字数200千字　2019年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888
售后服务：010-64518899
网　　址：http://www.cip.com.cn
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定　　价：49.00元

版权所有　违者必究

# 前　言

飞机作为旅客及货物的大型运载工具，已不可或缺。当读者看到乃至亲身乘坐各类飞机时，可曾想到，飞机飞行的原理是什么？飞机如何起飞、加速、拐弯、降落？飞机发动机的原理是什么？

飞机诞生至今，不过百年，在这一百多年中，无数航空工业者献出了毕生的精力，甚至宝贵的生命。飞机与其他交通工具相比，其安全性最高。在这背后，是无数飞机制造者及航运管理者的心血和努力。无论是追求极致性能的各种军用飞机还是追求安全高效的民用飞机，都是人类智慧的结晶。飞机制造水平也成为一个国家制造业水平的标志之一。

大家公认现代飞机诞生于 1903 年，莱特兄弟制成的世界上第一架有动力、可操纵、重于空气的载人飞行器试飞成功。短短的 12s，开创了人类飞天的新纪元，书写了历史的新篇章。航空技术是人类在 20 世纪取得的最伟大的科学技术成就之一。20 世纪是航空工业发展的黄金时期，实践的成功，鼓舞了无数学者和技师投入到航空工业之中，航空的原理不断完善，新的技术不断涌现，飞机飞得更快、更高、更远，不断挑战极限，超越极限。同时，安全、长寿、节能、环保、舒适等要求使得航空技术以及相关技术飞速发展，渐渐形成一个庞大的知识体系。如今，航空技术日新月异，令世界变小了，也变大了。可以说，航空技术是人类科技进步的引领者之一。

本书系统介绍了航空工业的基础知识和尖端技术，涵盖材料、力学、机械、仪表、控制等领域。材料是航空器的基础，发动机是航空器的心脏，各种燃料是航空器的动力之源，仪表和控制系统是航空器的价值之本。本书采用图文并茂的形式，通过大量简洁明确的示意图，配合精练文字，将这些要素展现在读者面前，先进性与可读性并重。

本书可供航空工业以及相关的材料、机械、电子、自动控制等专业人士参考，也可供广大的航空爱好者学习。

本书得到清华大学本科教材立项资助并受到清华大学材料学院的全力支持，再次表示感谢。

由于笔者水平和知识面有限，不足之处恳请读者批评指正。

田民波

# 目　　录

## 第 1 章　航空技术入门


1.1　航空器是如何分类的……2

1.2　如何实现空中飞行……4

1.3　飞机的诞生……6

1.4　飞机的构成……8

1.5　牛顿三大运动定律……10

1.6　空气的质量、密度和压力……12

1.7　流动空气的动压和静压……14

1.8　作为飞机飞行性能比较基准的“标准大气”……16

1.9　英寸（in）和磅（lb）……18

书角茶桌

莱特兄弟的思维突破……20


## 第 2 章　航空力学基础


2.1　作用于飞机机体上的四个力……22

2.2　阻碍前进的力——阻力……24

2.3　机翼与升力……26

2.4　升力的操作与失速……28

2.5　飞机的轴和运动……30

2.6　保持平衡飞行的“稳定性”……32

2.7　依使用目的不同而异的“操纵性”和“运动性”……34

2.8 与发动机推力相关的“上升”……36
2.9 使飞机的行进方向左右变化的旋回……38
2.10 左右飞行经济性的巡航……40
2.11 阻力发生最小同时升力增加的起飞……42
2.12 升力与阻力最大限度增加的着陆……44
2.13 高速飞行——超越声速和冲击波问题……46
2.14 重量和重心……48
书角茶桌
应急弹射装置和降落伞……50

## 第3章 飞机机体构造

3.1 机体上所受到的力……52
3.2 载荷倍数……54
3.3 舱压（cabin pressure）……56
3.4 机身的构造……58
3.5 耐升力的机翼结构……60
3.6 有限可靠性（fail safe）结构……62
3.7 损伤容许设计……64
书角茶桌
遇险航班机长如何化险为夷……66

## 第4章 发动机——推力和升力之源

4.1 飞机发动机的分类及特征……68

4.2 喷气式发动机的原理……70
4.3 喷气式发动机的构成……72
4.4 涡轮风扇发动机的构造及对材料的要求……74
4.5 吸入外气并使其压力升高的压缩机……76
4.6 在高压的空气中喷射燃料，使其燃烧的燃烧器……78
4.7 从喷出气体获得力的涡轮机……80
4.8 驱动飞机前进的推力……82
4.9 随机种不同而异的燃料……84
书角茶桌
基础研究到应用研究……86

## 第 5 章 航运安全系统

5.1 为大型飞机提供操纵力的油压系统……88
5.2 提供舒适空中旅行环境的舱压、空调系统……90
5.3 依机型而异的氧气供应系统……92
5.4 防止结冰的防结冰、除冰系统……94
5.5 确保向发动机供给燃料的燃料系统……96
5.6 交直流均可用的电源系统……98
5.7 用于发动机启动的辅助动力系统……100
5.8 天线与电磁波……102
书角茶桌
常挂于心的疑问……104

## 第 6 章　高强轻质的飞机材料

6.1　各类工程材料的屈服强度对比 ……106
6.2　不同材料的比强度和比模量 ……108
6.3　材料选择的重要指标比强度和比刚度 ……110
6.4　支撑飞机发展的铝合金 ……112
6.5　铝合金的热处理 ……114
6.6　强而不生锈的钛合金 ……116
6.7　飞机中使用位置受限的钢 ……118
6.8　耐高温腐蚀和抗蠕变性能强的耐热合金 ……120
6.9　由纤维和塑料组合而成的复合材料 ……122
6.10　飞机机身结构所用材料的变迁 ……124
书角茶桌
周末休假中发现了铝合金的时效硬化 ……126

## 第 7 章　显示飞机状态的航空仪表

7.1　空盒计 (1)——高度计 ……128
7.2　空盒计 (2)——升降计和对气速度计 (空速管) ……130
7.3　显示飞机姿势的陀螺仪 ……132
7.4　指导到达目的地的导航仪 ……134
7.5　磁型罗盘和远距离指示罗盘 ……136
7.6　安全航运不可或缺的压力计 ……138
7.7　对发动机各部位的温度进行管理的温度计 ……140
7.8　决定燃料补给量的流量计 ……142

7.9 综合电子仪表 ……144
书角茶桌
紧急事态和模拟训练 ……146

## 第 8 章 直升机的原理与结构

8.1 旋转翼飞机 ……148
8.2 直升机的构造 ……150
8.3 直升机的操纵 ……152
8.4 陀螺预调整 ……154
8.5 旋翼叶片的运动 ……156
书角茶桌
直升机特技飞行 ……158

## 第 9 章 我国的航空产业——自强不息、后来居上

9.1 C919 国产大型客机 ……160
9.2 C919 大型客机机身采用的金属材料 ……162
9.3 C919 大型客机机身采用的复合材料 ……164
9.4 先进喷气发动机 ……166
9.5 C919 大型客机发动机用新材料 ……168
9.6 C919 大型客机发动机用复合材料 ……170
9.7 涡轮扇结构及其形成方法 ……172
9.8 隐形飞机 ……174
9.9 吸波方法和隐形技术 ……176
9.10 吸波材料及吸波层的形成 ……178

9.11 国产先进战斗机——歼-20……180
9.12 无人机……182
书角茶桌
空中优势的转变……184

参考文献……185
作者简介……186




# 航空技术入门

1.1 航空器是如何分类的
1.2 如何实现空中飞行
1.3 飞机的诞生
1.4 飞机的构成
1.5 牛顿三大运动定律
1.6 空气的质量、密度和压力
1.7 流动空气的动压和静压
1.8 作为飞机飞行性能比较基准的“标准大气”
1.9 英寸（in）和磅（lb）

**书角茶桌**

莱特兄弟的思维突破

## 1.1 航空器是如何分类的

航空器是可载人且能在空中飞行的机械

航空器是指可获得由空气产生的浮力，能在大气中飞行的机械。包括可搭乘许多乘客在全球空中长途飞行的客机、在灾害现场用于救助活动的直升机、航空展览中将空中打扮得色彩斑斓的热气球、受上升气流驱动而飞翔在空中的滑翔机等。尽管形状、大小、用途各不相同，但它们都属于航空器。

如同汽车有小轿车、大巴车、卡车、大货车等分类一样，航空器也有几种分类方法。首先，按机体比空气重还是比空气轻来分，有重航空器和轻航空器。重航空器包括飞机、旋翼机、滑翔机等，轻航空器包括气球、飞艇等，它们靠氦等轻的气体或加热的空气来得到浮力。

飞机和滑翔机的主翼均固定在机身上，因此被分类为固定翼飞机。飞机自身装有引擎，靠在空气中前进时产生浮力（升力）而飞行。在机场可看到的航空器几乎都是飞机。

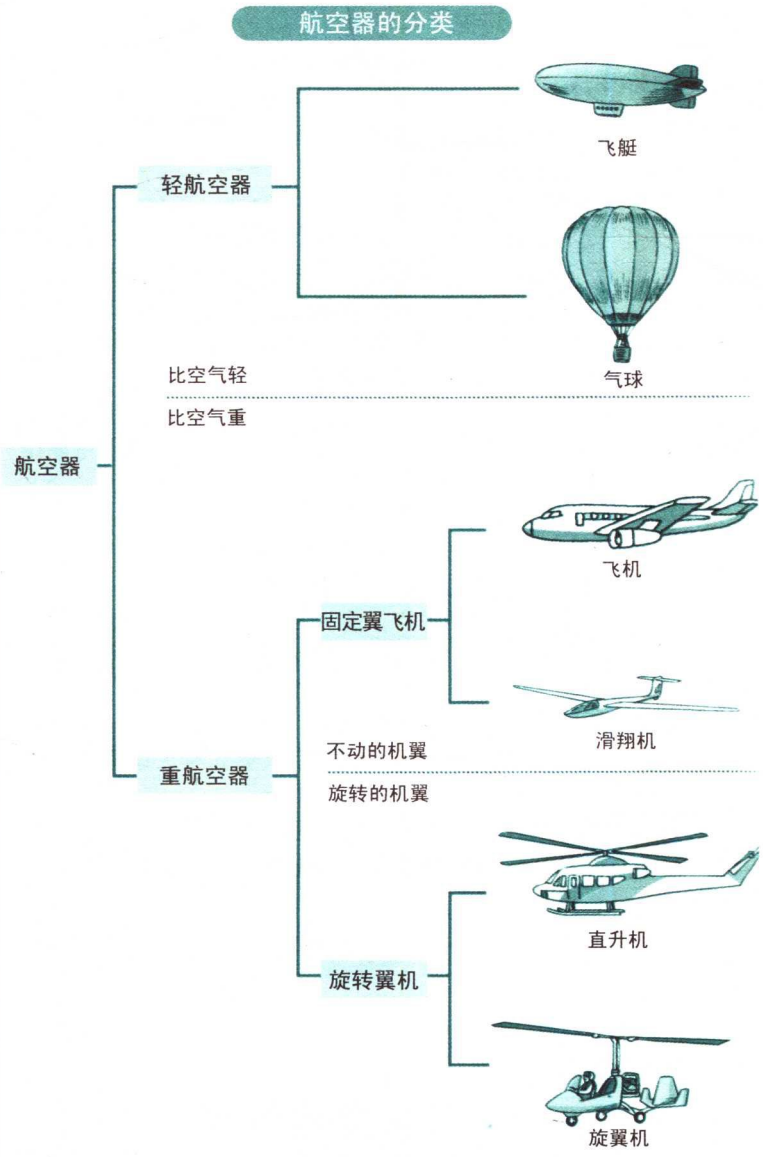
滑翔机可分为不备有发动机的滑翔机（纯滑翔机）和备有小功率发动机的滑翔机（马达滑翔机）两类。由于前者不能靠自力起飞，因此需要借助卷扬机或飞机的拖航起飞。

旋转翼机借由翼（主翼、主螺旋桨）的旋转获得升力，因此有直升机和旋翼机两种。直升机不受最低飞行速度的限制，在狭窄的场所也能起飞和着陆，在空中既可静止又可后退，特别适合灾难现场的救助活动及现场报道活动等。旋翼机与直升机类似，但其主翼（主螺旋桨）并不与发动机相连接，而是像飞机那样通过滑行，主螺旋桨靠风旋转，借由此产生的浮力而起飞，着陆也同样地借由滑行进行。

**本节重点**

（1）飞机是机体上带机翼且由发动机驱动的飞行器。
（2）纯滑翔机起飞需要拖航。
（3）直升机能在空中静止。

## 航空器的分类


航空器
轻航空器
飞艇
气球
比空气轻
比空气重
重航空器
固定翼飞机
飞机
滑翔机
不动的机翼
旋转的机翼
旋转翼机
直升机
旋翼机

## 1.2 如何实现空中飞行

对飞鸟等飞行高手进行简单模仿是愚蠢之举

只要能在空中飞行，即使不配置特殊的道具，也能安全地从高高的悬崖上飞降而下。若经过助跑的飞落过程还能实现水平方向的移动，此时的轨迹便是抛物线。实际上，由于受空气阻力的作用，其轨迹与抛物线会略有差异。

自然界就存在利用空气的阻力移动的动物，森林中的飞鼠便是其中之一。飞鼠的皮肤发达，连着前后两肢的膜一旦打开，犹如张开的伞叶。飞鼠在落下的同时获得升力，从而可方便地向相邻的树木等移动。据说，该膜就是翼的原始形态。在降落过程中，空气流对翼产生的升力抵消部分重力，许多鸟都是以这种方法飞行的，人造的滑翔机也基于同样的道理。

像飞鼠这种只能使下落延长的飞行及风筝的飞行受到诸多限制。例如，不能从平地起飞，在无上升气流的无风状态不可能维持一定的高度等。

许多鸟和昆虫靠翅膀获得前进的力（推力）和浮力（升力），从而能在空中自由自在地飞行。从前，梦想在空中自由飞翔的冒险家曾经做出过酷似鸟翼的机构，但试飞都以失败告终。人们得出的结论是“制作像翅膀那样的，能支持超过 50kg 人体体重的翼是不可能的。”（随着材料和控制技术的发展，扑翼无人机已经研制成功。）鸟经历长期的进化过程，不仅形成巧妙的翼，而且具有得天独厚的身体：结实而中空的骨骼、强有力的肌肉，使它能高效率动作，既轻盈又强韧。但即使像白天鹅这种大型鸟类，其体重也不过 10kg 左右。

千百年来，无数先驱的飞行之梦始终未能实现，直到 20 世纪，情况才发生了变化。仅经过百余年，数百吨的机体也能直入云霄，而且飞行速度远非鸟类所比。

**本节重点**

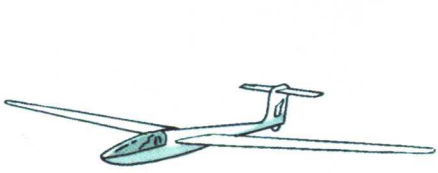
(1) 利用空气阻力在空中移动的飞鼠。
(2) 简单模仿鸟的飞行之梦未能实现。
(3) 人类仅经过 100 年就能使数百吨的机体在空中飞行。

## 鸟靠扇动双翅在空中飞行



按人体质量50kg计，即使人生双翅也难以飞行

## 乘着气流在空中滑行

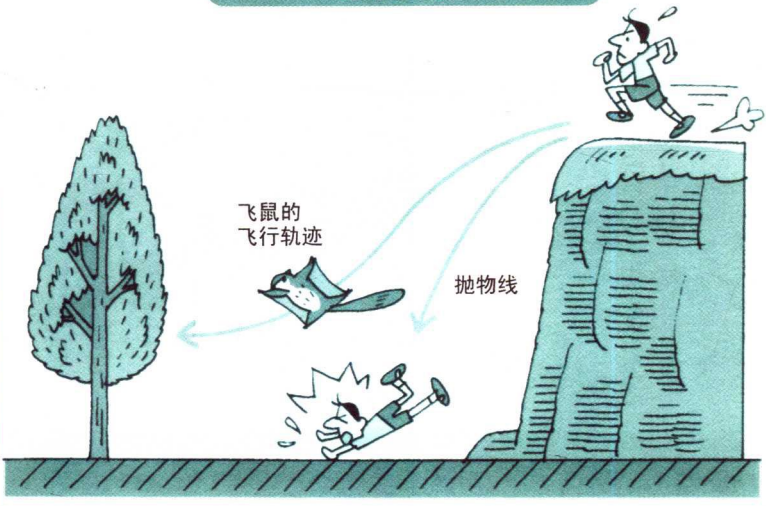


滑翔机



在空中滑翔的鸟

## 边飞行边落下



## 1.3 飞机的诞生

莱特兄弟的“飞行者1号”是人类最初的飞机

最早制成飞机的，公认是美国的莱特兄弟。经营自行车商店的威尔伯·莱特（1867.4.16～1912.5.12）和奥维尔·莱特（1871.8.19～1948.1.30）二人经过长期研究，于1903年12月17日在北卡罗来纳州实现了历史性的飞行。当日的第一次飞行只有12s，最长的第四次飞行也只有59s，都是很短的飞行。但这一极短的飞行意义匪浅，因为“飞行者1号”已具备现代飞机的基本要素：包括产生推力的强力引擎和螺旋桨，产生升力的非扇动机翼，另外”飞行者1号“还有必要的操作系统。

莱特兄弟二人得以成功飞行的因素有几个：一是采用了单位重量输出功率高的汽油发动机；二是开发出了效率高的螺旋桨；三是备有使飞行按人意愿进行飞行的操纵装置；四是此前进行过多次利用滑翔机的飞行训练，并已获得准确的操纵技术等。

自从飞机发明以后，它便日益成为现代文明不可缺少的交通工具。

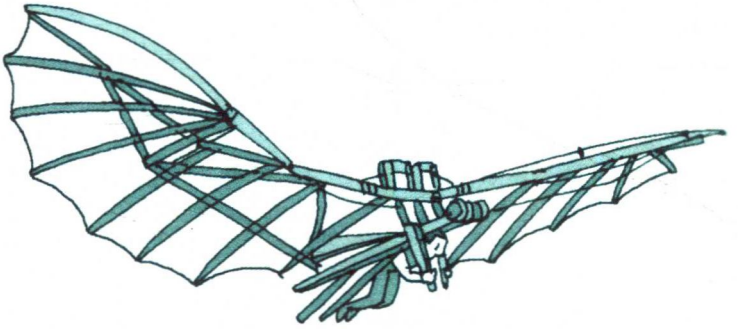
1909年，冯如制造出第二架飞机并试飞成功，成为中国第一个飞机设计、制造师和飞行家，被誉为“中国航空之父”。

本节重点

(1) “飞行者1号”是最早的有人飞行。

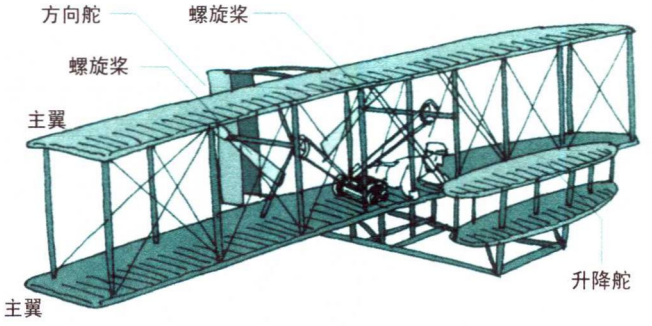
(2) 固定翼+强力发动机+操纵系统是飞机的基本要素。

## 达・芬奇提出的飞机构想



模仿飞鸟，上下扇动机翼，由此获得必要的升力和推力

## 莱特兄弟（美）的“飞行者1号”——已具备现代飞机的基本要素




包括产生推力的强力引擎和螺旋桨，产生升力的非扇动机翼，还有必要的操作系统