



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

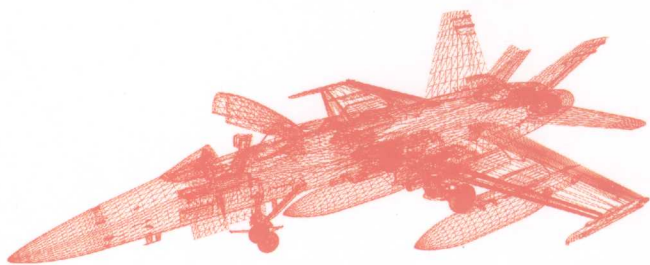
航空、航天、航海系列

TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION

(第2版)

# 飞机原理与构造

杨华保 主编



西北工业大学出版社

2583859

V221  
4/-2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 飞机原理与构造

(第2版)

主编 杨华保

编者 杨华保 李育斌 韩 庆

袁昌盛 廉小纯



SEU 2583859

西北工业大学出版社

3283828

**【内容简介】** 本书以飞机为核心,主要介绍其基本飞行原理、结构分析基础以及动力装置、设备和系统的基本原理等。在基本飞行原理中,介绍了飞机低速和高速空气动力特性、飞行性能及操稳特性分析;结构分析基础部分,在阐明飞机结构分析概念的基础上,对机翼、机身、起落架和操纵系统的典型结构进行了分析,并介绍了飞机疲劳设计与损伤容限设计的基本概念;在飞机动力装置、设备和系统基本原理部分,介绍了动力装置、机载设备、主要系统的组成和基本工作原理;最后还安排了飞机总体设计概述的内容。

本书为高等航空院校飞行器制造工程等专业的教材,也可供从事飞机和其他航空飞行器设计及研究的人员参考。

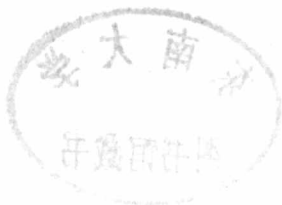
### 图书在版编目(CIP)数据

飞机原理与构造/杨华保主编.—2版.西安:西北工业大学出版社,2011.7

ISBN 978-7-5612-3121-0

I. ①飞… II. ①杨… III. ①飞机—高等学校—教材 IV. ①V2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第142583号



出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号

邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpup.com

印刷者:陕西宝石兰印务有限责任公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:19.75

字数:481千字

版次:2011年7月第2版 2011年7月第1次印刷

定价:40.00元

# 前 言

本书是为航空高等院校飞行器制造工程等专业编写的教材。

本书以飞机为核心,主要介绍其基本飞行原理、结构分析基础以及动力装置、设备和系统的基本原理等。在飞机的基本飞行原理中,通过对飞机低速空气动力特性和高速空气动力特性的初步分析,阐明了飞机飞行的升阻特性,并在此基础上,介绍了飞机的飞行性能以及稳定、操纵性分析方法。飞机结构分析基础部分,在介绍飞机结构分析概念及方法的基础上,对机翼、机身、起落架和操纵系统的典型结构进行了初步分析,并介绍了飞机疲劳设计与损伤容限设计的基本概念。在飞机动力装置、设备和系统基本原理部分,介绍了飞机动力装置、机载设备、主要系统的组成和基本工作原理。最后还安排了飞机总体设计概述的内容。这样安排的目的是想通过这些内容的学习,让学生对飞机这一复杂的工程系统及其设计过程有一个基本而全面的了解,以便在今后从事的与飞机设计相关的工作中,大胆创新,灵活处理各种问题。

本书是在《飞机原理与构造》2002年第1版的基础上,经过几年的教学实践,做了大量的补充修订,力求做到理论严谨、系统全面、通俗易懂、贴近工程实际。

在编写过程中,参考了大量的文献资料,限于篇幅,不能一一列举,对这些文献资料的作者,在此表示衷心的感谢。同时,使用过本书的学生和读者,对本书的编写体系和内容等,提出了许多好的建议,在此谨致谢意。

本书的出版,得到了西北工业大学教务处、西北工业大学航空学院和西北工业大学出版社的大力支持,在此表示感谢。

全书共分为17章,其中第2章和第3章由李育斌编写,第13章和第14章由韩庆编写,第15章和第16章由袁昌盛编写,第12章部分内容由廉小纯编写,其余内容由杨华保编写。本书由杨华保任主编。

本书所涉及航空科学技术领域甚为广泛,限于编者的水平,难免有不当之处,敬请读者不吝指正,以便改进提高。

编 者

2010年12月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 飞行器的基本概念 .....	1
1.2 飞机的主要组成部分及功用 .....	4
1.3 飞机的研制过程 .....	5
<b>第 2 章 低速空气动力学基础</b> .....	9
2.1 大气的基本性质 .....	9
2.2 流场的基本概念.....	13
2.3 低速流动的基本规律.....	16
2.4 翼型及其气动特性.....	18
2.5 机翼及其气动特性.....	26
<b>第 3 章 高速空气动力学基础</b> .....	34
3.1 高速气流的特性.....	34
3.2 激波与膨胀波.....	40
3.3 翼型空气动力特性.....	43
3.4 后掠机翼.....	50
3.5 高速飞机的外形特点.....	55
<b>第 4 章 飞机的飞行性能</b> .....	60
4.1 飞行性能分析的原始数据和基本定义.....	60
4.2 机体坐标轴系.....	65
4.3 飞机的基本飞行性能.....	66
4.4 飞机的续航性能.....	73
4.5 飞机的机动飞行性能.....	75
4.6 飞机的起飞和着陆性能.....	79
<b>第 5 章 飞机的平衡、稳定和操纵</b> .....	86
5.1 飞机的平衡.....	86
5.2 飞机的稳定性.....	89
5.3 飞机的操纵性.....	94

5.4	飞机飞行品质简介	97
<b>第6章</b>	<b>飞机结构分析概述</b>	<b>100</b>
6.1	飞机结构设计的基本要求	100
6.2	飞机主要结构材料	101
6.3	典型飞行状态的过载	103
6.4	飞机设计规范简介	104
6.5	受剪板式薄壁结构	107
6.6	薄壁结构的承力特点	111
6.7	薄壁结构的受力分析	115
6.8	薄壁结构的静不定度	119
<b>第7章</b>	<b>机翼、尾翼结构分析</b>	<b>121</b>
7.1	机翼、尾翼的功用与要求	121
7.2	机翼、尾翼的外载特点	122
7.3	机翼结构的典型元件与典型受力型式	126
7.4	机翼典型受力型式的传力分析	130
7.5	后掠翼和三角翼的受力分析	145
7.6	气动弹性问题概述	150
7.7	尾翼及操纵面的结构分析	154
<b>第8章</b>	<b>机身结构分析</b>	<b>161</b>
8.1	机身的功用、内部布置和设计要求	161
8.2	机身的外载和受力特点	163
8.3	机身典型结构型式的传力分析	164
8.4	机身加强框	169
8.5	机身开口的受力特点	173
8.6	气密座舱的受力特点	176
<b>第9章</b>	<b>飞机结构的疲劳及损伤容限设计</b>	<b>180</b>
9.1	概述	180
9.2	疲劳设计	181
9.3	损伤容限设计	190
<b>第10章</b>	<b>飞机起落装置</b>	<b>198</b>
10.1	起落架的安装形式	198
10.2	起落架的构造形式	199

10.3	起落架的收放形式	201
10.4	起落架的减震机构	203
10.5	起落架的机轮和刹车	204
10.6	起飞降落的一些方法	206
<b>第 11 章</b>	<b>飞机操纵系统</b>	<b>209</b>
11.1	飞机操纵系统的分类	209
11.2	飞机主操纵系统	209
11.3	飞机辅助操纵系统	211
11.4	自动驾驶仪的组成、功用及工作原理	212
<b>第 12 章</b>	<b>飞机动力装置</b>	<b>216</b>
12.1	航空发动机的分类	216
12.2	活塞发动机	216
12.3	燃气涡轮发动机	220
12.4	冲压发动机	226
12.5	发动机在飞机上的安装	227
12.6	进气和排气系统	230
<b>第 13 章</b>	<b>航空仪表的工作原理</b>	<b>232</b>
13.1	飞行仪表	232
13.2	发动机仪表	241
<b>第 14 章</b>	<b>航空电子系统概述</b>	<b>245</b>
14.1	航空电子系统的概念	245
14.2	通信系统	245
14.3	导航系统	247
14.4	探测系统	255
14.5	电子战系统	257
<b>第 15 章</b>	<b>飞机飞行控制系统概述</b>	<b>259</b>
15.1	飞行控制系统分类、构成和工作原理	259
15.2	自动飞行控制系统	260
<b>第 16 章</b>	<b>飞机通用系统概述</b>	<b>273</b>
16.1	飞机机电系统	273
16.2	飞机环境控制与生命保障系统	278

102	16.3	航空武器系统	281
105	16.4	座舱显示系统、控制和记录设备	286
108	<b>第 17 章 飞机总体设计概述</b>		293
108	17.1	飞机设计要求	293
109	17.2	飞机的布局型式	295
109	17.3	飞机主要参数和部件外形参数设计	302
109	17.4	飞机总体布置	305
118	17.5	总体方案的分析	307
118	<b>参考文献</b>		308



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 飞行器的基本概念

### 1.1.1 飞行器 (flight vehicle)

在大气层内或大气层外空间(太空)飞行的器械统称为飞行器。飞行器可分为 3 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、飞机等(见图 1.1~图 1.4)。它们靠空气的静浮力或空气相对运动产生的空气动力升空飞行。

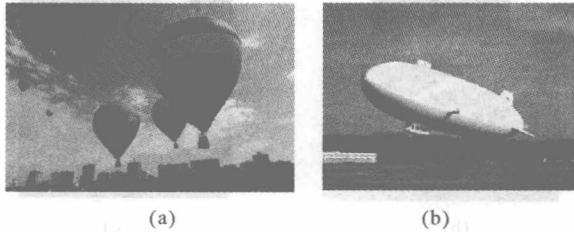


图 1.1 轻于空气的航空器——气球和飞艇

(a) 气球; (b) 飞艇



图 1.2 滑翔机

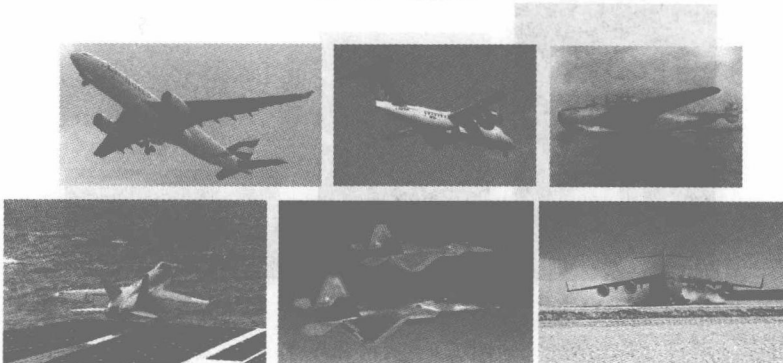


图 1.3 飞机

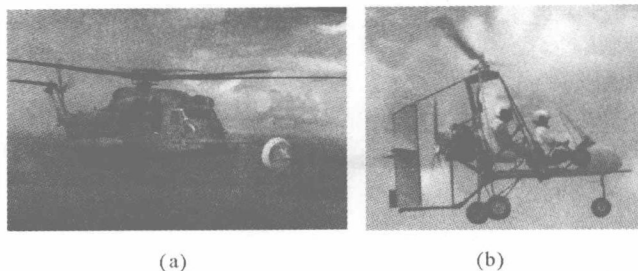


图 1.4 直升机和旋翼机  
(a)直升机；(b)旋翼机

在太空飞行的飞行器称为航天器(见图 1.5),如人造地球卫星、载人飞船、空间探测器、航天飞机等。它们在运载火箭的推动下获得必要的速度进入太空,然后在引力作用下完成与天体类似的轨道运动。装在航天器上的发动机可提供轨道修正或改变姿态所需的动力。

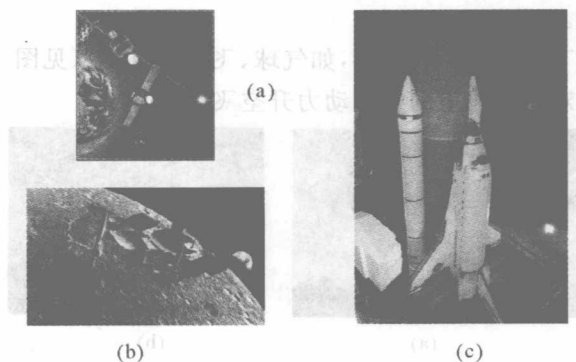


图 1.5 航天器  
(a)人造卫星；(b)空间探测器；(c)航天飞机

火箭是以火箭发动机为动力的飞行器(火箭发动机也常简称为火箭),可以在大气层内,也可以在大气层外飞行。它不靠空气静浮力,也不靠空气动力,而是靠火箭发动机的推力升空飞行。导弹有主要在大气层外飞行的弹道导弹和装有翼面在大气层内飞行的地空导弹、巡航导弹等。有翼导弹在飞行原理上,甚至在结构上与飞机颇为相似。导弹是装有战斗部的可控制的火箭。通常火箭和导弹都只能使用一次,人们往往把它们归为一类(见图 1.6)。

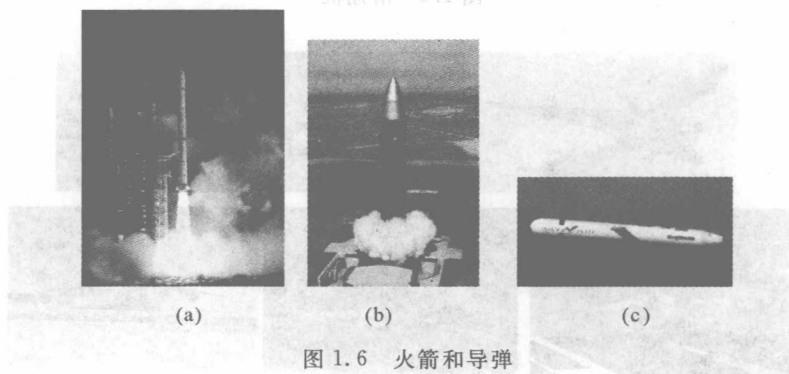


图 1.6 火箭和导弹  
(a)火箭；(b),(c)导弹

### 1.1.2 航空器(aircraft)

能在大气层内进行可控飞行的各种飞行器统称为航空器(见图 1.1~图 1.4)。任何航空器都必须产生一个大于自身重力的向上的力,才能升入空中。根据产生向上力的基本原理的不同,航空器可划分为两大类:轻于空气的航空器和重于空气的航空器。前者靠空气静浮力升空,又称浮空器;后者靠空气动力克服自身重力升空。

轻于空气的航空器的主体是一个气囊,其中充以密度较空气小得多的气体(氢或氦),利用大气的浮力使航空器升空。气球和飞艇都是轻于空气的航空器,二者的主要区别是前者没有动力装置,升空后只能随风飘动,或者被系留在某一固定位置上,不能进行控制;后者装有发动机、空气螺旋桨、安定面和操纵面,可以控制飞行方向和路线。

重于空气的航空器的升力是由其自身与空气相对运动产生的。固定翼航空器主要由固定的机翼产生升力。旋翼航空器主要由旋转的旋翼产生升力。

飞机是最主要的、应用范围最广的航空器。它的特点是装有提供拉力或推力的动力装置,产生升力的固定机翼,控制飞行姿态的操纵面。20世纪80年代初出现的航天飞机,虽然也有机翼并具有与飞机类似的外形,但它是靠火箭推动在发射架上垂直发射而飞出大气层,然后在近地轨道上运行的。航天飞机返回时主要靠无动力滑翔着陆,这是它与飞机的主要不同之处。

滑翔机与飞机的根本区别是,它升高以后不用动力而靠自身重力在飞行方向的分力向前滑翔。虽然有些滑翔机装有小型发动机(称为动力滑翔机),但主要是在滑翔飞行前用来获得初始高度。

旋翼航空器由旋转的旋翼产生空气动力。旋翼机的旋翼没有动力驱动,当它在动力装置提供的拉力或推力作用下前进时,迎面气流吹动旋翼,像风车似地旋转,从而产生升力。有的旋翼机还装有固定小翼面,由它提供一部分升力。直升机的旋翼是由发动机驱动的,升力和水平运动所需的拉力都由旋翼产生。

航空器的应用非常广泛。在军事上,它可用于航空侦察、轰炸、反潜、空战,运输兵员、武器和作战物资;在民用上,可完成货运、客运、农业、渔业、林业、气象、探矿、空中测量、空中摄影等方面的任务。此外,航空器还是进行科学研究的一种重要工具。在人造地球卫星、载人飞船等航天器出现之前,有关高空气象、大气物理、地球物理、地质学、地理学等方面的许多研究工作,都借助于航空器。即使在航天器出现之后,由于航空器的价格较低,使用方便,仍是在高空进行科学研究的重要工具。

飞机诞生100多年来,性能有了显著提高,已研制出最大飞行速度超过3倍声速、飞行高度达30 km的军用飞机;活动半径可超过4 000 km、载弹量超过20 t的超声速轰炸机;以及载客500~800人、能进行洲际飞行的旅客机。直升机的历史虽然只有50多年,但也已发展成为比较完备的、有特殊功能(垂直起降,空中悬停)的航空器。

### 1.1.3 飞机(airplane)

由动力装置产生前进推力,由固定机翼产生升力,在大气层中飞行的重于空气的航空器称为飞机(见图 1.3)。无动力装置的滑翔机、以旋翼作为主要升力面的直升机以及在大气层外飞行的航天飞机都不属于飞机的范围。

飞机按用途可分为军用飞机和民用机两大类。军用飞机是按各种军事用途设计的飞机,

主要包括歼击机(战斗机)、截击机、歼击轰炸机、强击机(攻击机)、轰炸机、反潜机、侦察机、预警机、电子干扰飞机、军用运输机、空中加油机、舰载飞机等。民用机则泛指一切非军事用途的飞机,包括旅客机、货机、公务机、农业机、运动机、救护机、试验研究机等。其中旅客机、货机和客货两用飞机又统称为民用运输机。现代运输机具有快速、舒适、安全可靠的优点,并且不受复杂地形的影响,能在两地之间完成最短距离的航行。

### 1.1.4 直升机(helicopter)

以动力驱动的旋翼作为主要升力来源,能垂直起落的重于空气的航空器称为直升机(见图 1.4)。它既区别于以旋翼作为主要升力来源但不能垂直起落的旋翼机,又区别于不是以旋翼作为主要升力来源的垂直起落飞机。直升机属于旋翼航空器,装有一副或几副类似于大直径螺旋桨的旋翼。旋翼安装在机体上方近于铅垂的旋翼轴上,由动力装置驱动,能在静止空气和相对气流中产生向上的升力。旋翼受自动倾斜器操纵又可产生向前、向后、向左或向右的水平分力。因此,直升机既能垂直上升下降、空中悬停,又能向前后左右任一方向飞行。直升机可以在狭小场地上垂直起飞和降落而无需跑道。在超载情况下,有机轮的直升机也可以滑跑起飞。当发动机在空中停车时,直升机还可以利用旋翼自转下滑,安全着陆。

## 1.2 飞机的主要组成部分及功用

飞机的主要组成部件有机翼、尾翼、机身、起落架、飞机操纵系统、飞机动力装置和机载设备等,如图 1.7 所示。

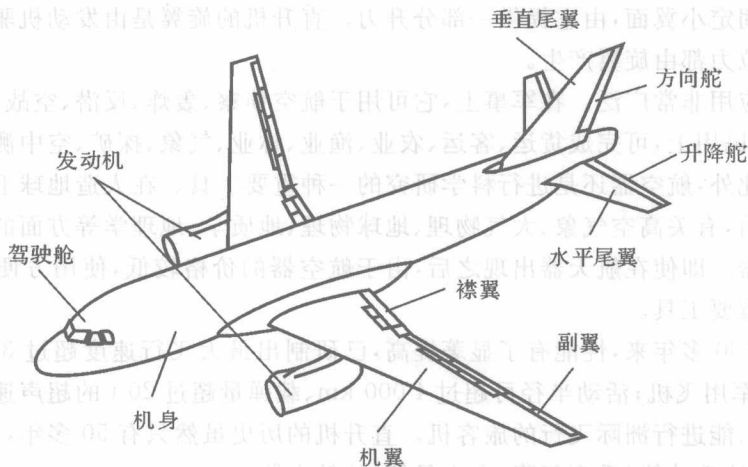


图 1.7 飞机的主要组成部分

### 1. 机翼

机翼是飞机产生升力的部分。通常在机翼上有用于横向操纵的副翼和扰流片,机翼前后缘部分还设有各种型式的襟翼和缝翼,用于起飞和着陆阶段增加升力或改变机翼升力的分布。

## 2. 尾翼

尾翼通常在飞机尾部,起稳定和操纵作用,常分为水平尾翼和垂直尾翼两部分。个别飞机的尾翼设计成V形,兼起水平尾翼和垂直尾翼的作用,称为V形尾翼。一般水平尾翼由水平安定面和升降舵组成,垂直尾翼由垂直安定面和方向舵组成。在超声速飞机上,为了提高飞机纵向操纵效率,常将水平尾翼做成一个整体(不分水平安定面和升降舵),可以操纵偏转,称为全动平尾。有的飞机上(主要是变后掠翼飞机),还将全动水平尾翼设计成可以差动偏转的形式,即平尾的左右两半翼面不仅可以同向偏转,且可反向偏转,此时可起横向操纵作用,这种形式称为差动平尾。带方向舵的垂直尾翼已能满足超声速飞行时的航向操纵要求,所以较少采用全动垂直尾翼。在有些飞机上,将水平尾翼移到机翼的前面,称为前翼或鸭翼。

## 3. 机身

机身处于飞机的中央,主要用于容纳人员、货物或其他载重和设备,别的部件也多与机身相连。但是机身并不是飞机不可缺少的部件,早期飞机仅有一个连接各部件的构架,这样的机身在初级滑翔机和超轻型飞机上还可见到。后来为了减少阻力,发展成为流线外形的机身,并用以容纳货物、人员和设备等体积较大的载重物。如果飞机足够大,能将人员、货物、燃油等全部装在机翼内部,则可以取消机身,成为飞翼式飞机,简称飞翼。

## 4. 起落架

起落架是飞机起飞、着陆滑跑和在地面(或水面)停放、滑行中支持飞机的装置,一般由承力支柱、减震器、带刹车的机轮(或滑橇、浮筒)和收放机构组成。在低速飞机上,采用不可收放的固定式起落架以减轻重量。在支柱和机轮上有时装整流罩以减小阻力。对于陆地上或舰上起落的飞机用机轮,在冰上或雪地起落的飞机用滑橇代替机轮,浮筒式水上飞机则代之以浮筒。

## 5. 操纵系统

操纵系统用于操纵和控制飞机。早期的人工操纵系统包括中央操纵机构(驾驶杆/盘、脚踏蹬)、传动机构(拉杆、摇臂或钢索、滑轮等)、助力系统(液压的和电动的)等。现代飞机已经广泛采用自动飞行操纵系统,其组成包括中央操纵机构、自动驾驶仪、电传操纵系统等。

## 6. 动力装置

动力装置包括产生推力的发动机和保证发动机正常工作所需的附件和系统,其中包括发动机的启动、操纵、固定、燃油、滑油、散热、防火、灭火、进气和排气等装置或系统。

## 7. 机载设备

机载设备包括飞行仪表、通信、导航、环境控制、生命保障、能源供给等设备,以及与飞机用途有关的一些机载设备,如战斗机的武器和火控系统,旅客机的客舱生活服务设施等。

# 1.3 飞机的研制过程

飞机是一个复杂的工程系统,具有研制周期长、费用高等特点。一种新飞机的投入使用,必然要经历一定的过程。1995年,原国防科工委等发布了《常规武器装备研制程序》,规定了新飞机研制的5个阶段:论证阶段、方案阶段、工程研制阶段、设计定型阶段、生产定型阶段(见图1.8)。

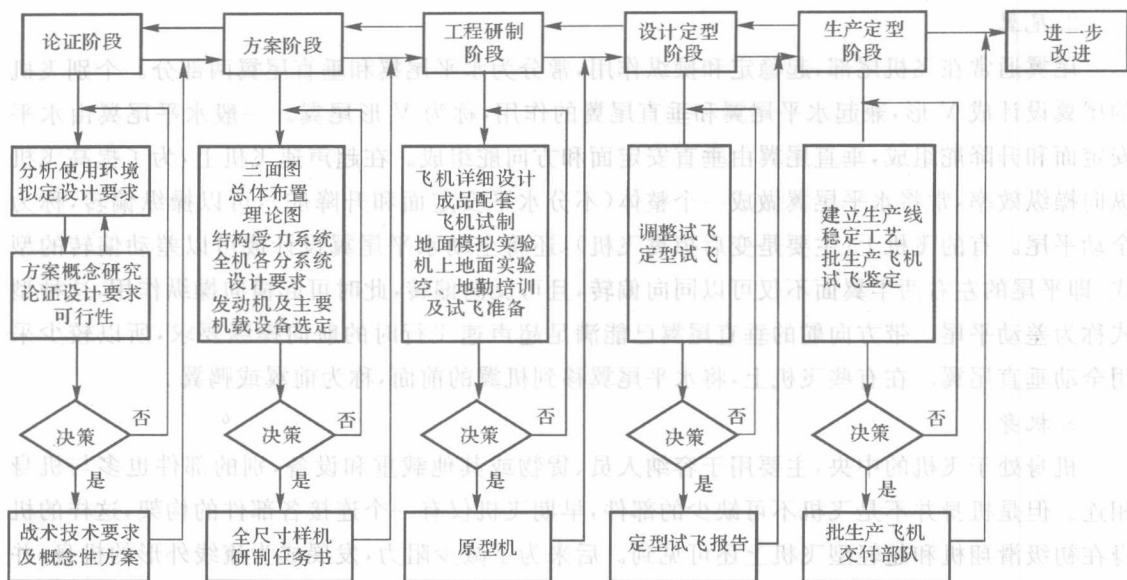


图 1.8 飞机的研制过程

### 1.3.1 论证阶段

论证阶段主要是研究新飞机设计的可行性,包括技术可行性和经济可行性。

论证阶段的主要工作内容包括:拟定新飞机的战术技术要求,新飞机的总体技术方案以及研制经费、保障条件和对研制周期的预测等,最后形成《X型飞机研制总要求》(或《X型飞机战术技术要求》)。

新飞机的战术技术要求是由使用部门根据国家的战略方针和未来面临的作战环境,经过分析后对新飞机提出的任务、使命和主要技术特征。工业部门则根据已有的技术储备以及对新技术可行性的预测,拟定出满足使用方需求的新飞机的可能的技术方案。经过对新飞机概念性方案的反复修改和对使用部门提出的初步的战术技术要求,从技术可行性、研制经费、研制周期以及风险度等方面反复磋商后,才能形成正式的《X型飞机研制总要求》。

在这一阶段,为了验证技术方案的可行性,必要时还要对所用的关键新技术进行试验验证(如气动布局方案的风洞实验),以使方案的可行性论证有坚实的技术基础。

### 1.3.2 方案阶段

方案阶段主要是根据批准的《X型飞机研制总要求》(或《X型飞机战术技术要求》)设计出可行的飞机总体技术方案。

方案阶段的主要工作内容有:确定飞机布局形式、总体设计参数,选定动力装置、各主要系统方案及其主要设备,确定机体主要结构材料和工艺分离面等;形成飞机的总体布置图、三面图、结构受力系统图,进行重心定位、性能和操稳特性分析、结构强度和刚度分析,提出对各分系统的技术要求;最终要制造出全尺寸的样机或绘制电子样机,进行人机接口、主要设备和通路布置的协调检查以及使用维护检查;样机在经过使用部门,特别是经空、地勤人员审查通过后,可以冻结新飞机的总体技术方案,开始转入工程研制。



在方案阶段,必须做方案验证性的风洞试验、结构和系统原理试验,使所有验证计算都建立在可靠的技术基础上。在确定总体技术方案的同时,也要对技术方案在经济和进度上做进一步分析和确定。

### 1.3.3 工程研制阶段

工程研制阶段就是根据方案阶段确定的飞机总体技术方案,进行飞机的详细设计、试制、地面试验、试飞准备等。

在工程研制阶段,设计人员进行部件和零构件详细设计;工艺人员制定飞机制造工艺总方案,并对详细设计的零、部件图纸进行工艺性审查;各分系统要陆续提交设计部门进行分系统的验证,对液压、燃油、飞控、空调、电源、航空电子等分系统做全系统的地面模拟试验;在详细设计过程中,可能还会对总体技术方案的细节做一些修改和调整,应根据设计更改后的方案,做全机模型的风洞校核试验,为试飞提供准确的气动力数据,然后做有飞行员参加的地面模拟器的飞行模拟试验;飞机部件及整机要做静力试验,以验证飞机的强度,起落架还要做落震等试验。

飞机总装完成后在试飞前,要做全机地面共振试验,以确定飞机的颤振特性;还要做各系统及其综合的机上地面试验以及全机电磁兼容性等机上地面试验,为放飞前做最后的验证。

飞机在工程研制阶段,即应拟定考核其能否满足原定战术技术要求的试飞大纲,并且应尽早培训空、地勤人员;最好在方案设计阶段就让他们参与进来,以熟悉新飞机的设计思想和特性,便于正确使用和处理新飞机在试飞中可能出现的问题;同时,还应在该飞机的地面飞行模拟台进行重要飞行状态的飞行模拟试验,提前发现飞行品质问题和熟悉飞机的操纵性、稳定性和使用特点。

在放飞前,还应进行充分的地面滑行试验,以进一步验证在动态过程中机上各系统的工作情况,同时进一步对试飞测试系统进行检验。

工程研制阶段的最终成果是试制出供地面和飞行试验用的原型机4~10架,并制定试飞大纲和准备好空、地勤人员使用原型机所需的技术文件,具有进行试飞所必需的外场保障设备。

### 1.3.4 设计定型阶段

新飞机首飞成功后即应按试飞大纲要求,进行定型试飞。

在开始定型试飞前,应由研制单位负责,进行调整试飞(工厂试飞),以排除新飞机的一些初始性的重大故障。调整试飞大致要飞到原设计飞行范围的80%左右,再开始正式的国家鉴定试飞,以检查新飞机能否达到设计要求。参与鉴定试飞用的原型机可按不同分工完成各自的试飞任务,以完成定型试飞大纲规定的所有任务。

在作调整试飞过程中,新飞机肯定会出现各种故障,必要时应对飞机作局部的修改。

在定型试飞过程中还会有故障,当然比调整试飞中出现的要少得多,而且更改大多是机内系统,涉及飞机外形的改动极少。

定型试飞通常需要上千个起落。试飞科目全部完成后,由试飞鉴定部门和试飞员写出正式报告,上报国家航空产品定型委员会,经批准后方可进入小批量生产。

一般情况下,到了设计定型阶段,飞机作大的更改是不允许的。

1.3.5 生产定型阶段

经过设计定型后,新飞机可能还会有一定的更改,特别是工艺性的改进。改进后的飞机即可进入小批量生产。

首批生产的飞机也应经鉴定试飞,主要检查工艺质量,通过后即可进入成批生产。

成批生产的飞机,在大量使用中还会出现新的问题,积累到一定程度,可再作一次改进。改进飞机的设计属于另一循环。

当今作战飞机往往有 20~30 年/4 000~6 000 飞行小时的寿命,运输机有 20~30 年/40 000~60 000 飞行小时的寿命。在其整个寿命期内,机上设备和发动机的更换是必然的,这往往称为寿命中期改进。

以上介绍的是军用飞机的一般研制过程。至于民用飞机的研制,大体上也要经历这样的过程。



## 第2章 低速空气动力学基础

### 2.1 大气的基本性质

#### 2.1.1 大气飞行环境

飞行器在大气层内飞行时所处的环境条件,称为大气飞行环境。包围地球的空气层(即大气)是航空器的唯一飞行活动环境,也是导弹和航天器的重要飞行环境。大气层无明显的上限,它的各种特性在铅垂方向上的差异非常明显,例如空气密度和压强随高度增加而很快减小。在 10 km 高度,空气密度只相当于海平面的 1/3,压强约为海平面的 1/4;在 100 km 高度,空气密度只有海平面的 0.000 04%(百万分之零点四),压强只有海平面的 0.000 03%(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(外大气层)等 5 个层次。航空器的大气飞行环境是对流层和平流层。大气层对飞行有很大影响,恶劣的天气条件会危及飞行安全,大气属性(温度、压力、湿度、风向、风速等)对飞机飞行性能和飞行航迹也会产生不同程度的影响。

#### 1. 对流层

对流层是地球大气中最低的一层。对流层中气温随高度增加而降低,空气的对流运动极为明显,空气温度和湿度的水平分布也很不均匀。对流层的厚度随纬度和季节变化,一般低纬度地区平均为 16~18 km,中纬度地区平均为 10~12 km,高纬度地区平均为 8~9 km。就季节而言,中国绝大部分地区一般都是夏季对流层厚,冬季对流层薄。对流层集中了全部大气约 3/4 的质量和几乎全部的水汽,是天气变化最复杂的层次,也是对飞行影响最重要的层次。飞行中所遇到的各种重要天气现象几乎都出现在这一层中,如雷暴、浓雾、低云幕、雨、雪、大气湍流、风切变等。在对流层内,按气流和天气现象分布的特点,又可分为下层、中层和上层 3 个层次。

(1) 对流层下层。对流层下层又称摩擦层。它的范围自地面到 1~2 km 高度,但在各地的实际高度又与地表性质、季节等因素有关。一般说来,其高度在粗糙地表上高于平整地表上,夏季高于冬季(北半球),白天高于夜间。在下层中,气流受地面摩擦作用很大,风速通常随高度增加而增大。在复杂的地形和恶劣天气条件下,常存在剧烈的气流扰动,威胁着飞行安全。突发的下冲气流和强烈的低空风切变常会引起飞机失事。另外,充沛的水汽和尘埃往往导致浓雾和其他恶化能见度的现象,对飞机的起飞和着陆构成严重的障碍。为了确保飞行安全,每个机场都规定有各类飞机的起降气象条件。另外,对流层下层中气温的日变化极为明显,昼夜温差可达 10~40℃。

(2) 对流层中层。它的底界即摩擦层顶,上界高度约为 6 km,这一层受地表的影响远小于