



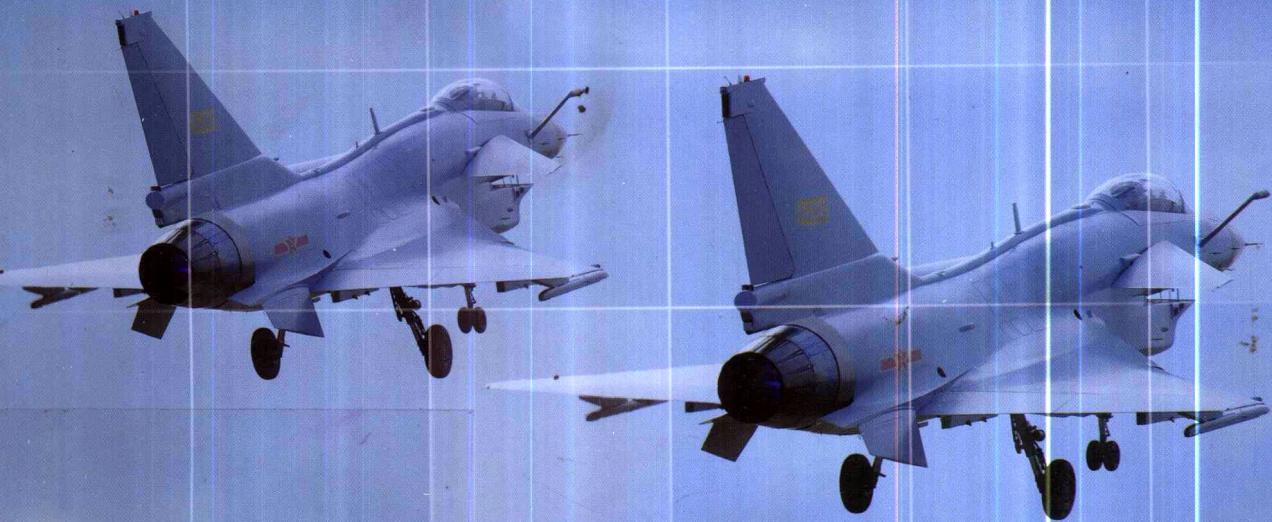
普通高等教育“十一五”国家级规划教材



北京高等教育精品教材  
BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

# 飞行器结构学 (第2版)

主 编	邴正能			
副主编	程小全	方卫国		
编 著	邴正能	程小全	方卫国	
	贾玉红	张玉珠	张纪奎	



北京航空航天大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

# 飞行器结构学

(第2版)

主 编	酆正能		
副主编	程小全	方卫国	
编 著	酆正能	程小全	方卫国
	贾玉红	张玉珠	张纪奎

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

航空航天飞行器是一个国家科学技术进步的标志和综合国力的体现。航空航天技术是20世纪以来发展最迅速的技术领域之一。本书立足于迅速发展环境,以飞行器结构的分析和设计为中心内容,首次将航空飞行器与航天飞行器结构分析和设计融为一体,进行全面系统的阐述。全书阐述各种飞行器的典型结构组成和特点,结构分析和设计的基本概念,设计原理、准则和方法。总结分析了结构设计思想的演变和发展方向,重点介绍飞机综合设计技术、新的结构设计方法和研制模式。同时设专门章节介绍先进复合材料典型结构,并较系统地介绍了复合材料结构设计特点、原理和方法;对航空飞行器和航天飞行器的特殊结构设计和特点也进行专门的介绍。

本书为高等院校航空和宇航工程类专业的教材,也可供从事飞行器设计和研究人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

飞行器结构学/郦正能主编. -- 2版. -- 北京:  
北京航空航天大学出版社,2010.4  
ISBN 978-7-5124-0043-6

I. ①飞… II. ①郦… III. ①飞行器—结构设计  
IV. ①V214.19

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第045849号

### 飞行器结构学(第2版)

主 编 郦正能

副主编 程小全 方卫国

编 著 郦正能 程小全 方卫国

贾玉红 张玉珠 张纪奎

责任编辑 胡 敏

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail: bhpress@263.net

北京市媛明印刷厂印装 各地书店经销

\*

开本:787×960 1/16 印张:30 字数:672千字

2010年4月第2版 2010年4月第1次印刷 印数:3 000册

ISBN 978-7-5124-0043-6 定价:59.00元



# 序


航空航天技术是当代发展最迅速的技术领域之一；航空航天业也是率先综合多种先进技术的行业之一。航空航天器使用要求的不断提高，促进了多种有关的先进技术的发展；而先进技术的使用，也使航空航天器的高使用要求得以实现。本书立足于迅速发展的技术环境，一方面，把航空器和航天器的结构分析和设计融合在一起；同时，阐述了设计方法、结构形式、材料工艺、使用维护等多方面的新成果、新技术，使读者能够更好地了解航空航天器研制的新进展和采用的新技术。

每一种航空航天器都是一个系统；结构是这个系统中的子系统之一。系统和子系统之间、各个子系统之间，既相辅相成，又相互制约。系统分析和系统综合是系统方法的重要内容。结构分析是结构设计的依据；结构设计则是在结构分析的基础上的优化综合。为了提高航空航天器结构设计的质量和效率，要求结构设计和分析密切结合；而现代先进手段的使用，又使这种结合更加紧密。本书把航空航天器的结构分析和设计结合在一起，有利于读者更好地了解分析和设计的相互关系，以及结构与总体设计、其他子系统设计之间的相互关系。

在国家教育部、国防科工委和北京市教委等单位的支持下，经过以郦正能教授为主编的编写组成员的共同努力，本书得以出版。

郦正能教授从1958年开始，一直从事飞机结构设计方面的教学和科研工作，参加过“北京”1号、“北京”4号、“北航”10号和无人驾驶飞机等多个飞机型号的设计、研制工作，在飞机结构分析与设计方面有丰富的经验。她主编的《飞机结构分析和设计》讲义，在本科和研究生教学中已使用了8年，取得了很好的效果。为了适应飞行器设计学科教学的需要，本书在原讲义的基础上既阐述了航空航天器分析和设计的共性概念、原理、原则和方法，又介绍了多种航空航天器研制的新进展，更加有利于飞行器设计人员对于相关知识的全面掌握，有利于飞行器设计专业本科和研究生的教学，并对从事航空航天器结构分析和设计的工程技术人员有重要的参考价值。

中国工程院院士：



2003年6月5日

# 前言

航空、航天技术的发展水平反映了一个国家的综合国力,飞行器设计是航空航天技术的一个重要内容。一方面,随着科学技术的不断进步,航空飞行器与航天飞行器的界限正在被打破,航空飞行器正在朝着空天飞机发展,航天技术与航空技术正在结合,因此有必要将航空飞行器和航天飞行器结构设计的知识和技术进行融合;另一方面,航空飞行器与航天飞行器在结构上有许多相同的特点,两类飞行器设计除了在材料、载荷和使用环境上有所不同外,其分析设计方法和所需要的基础知识也都基本相同。有鉴于此,将航空飞行器与航天飞行器的结构分析与设计融为一体是可能的,并且通过这种融合,更能加深对飞行器结构分析与设计的理解。

飞行器包括飞机和直升机等航空飞行器,导弹(火箭)、人造卫星、宇宙飞船、航天飞机、空间站等航天飞行器。随着科学技术的发展,国家教育部已将原来分开设立的飞机设计、导弹设计、航天飞行器设计等专业合并为一个大的飞行器设计学科,但目前有关飞行器结构设计的教材,只针对航空飞行器、导弹或航天飞行器,已不能适应当前飞行器设计学科教学和科研的需要,以及宽口径、大专业的人才培养要求。为此,我们结合多年来的科研与教学经验及航空、航天技术的最新发展状况,参考国内外新发表或出版的相关资料编写了这本书,并首次将飞机、直升机、导弹(火箭)、飞船、航天飞机等航空与航天飞行器结构分析与设计融为一体,进行全面系统的阐述。本书是高校飞行器设计学科的专业教材,也可作为航空航天工程技术人员的参考书。

本书以飞行器结构的分析与设计为中心内容,阐述了各种飞行器的结构特点、设计方法以及结构设计思想和方法的发展,为此,还对飞行器结构设计的载荷情况和一些设计中必须考虑的特殊问题进行了必要的介绍。全书共分12章。第1章叙述飞行器的分类、组成和设计的一般程序。第2章介绍飞行器的外载荷和设计情况。第3~9章介绍飞行器的结构特点,结构分析与设计的基本概念、设计原理、准则与方法,其中第6和7章集中介绍载人航天器和无人航天器结构的特点以及设计。鉴于复合材料性能的可设计性和各向异性使复合材料结构设计与

金属结构设计有很多不同,而复合材料作为优异的新型材料已成为飞行器结构中主要材料之一,因此在第10章中作了较充分的介绍。第11、12章介绍飞行器结构设计中某些特殊问题,结构设计思想的演变和发展,重点介绍飞行器结构综合设计技术、新的结构设计方法和研制模式。

航空飞行器与航天飞行器在结构上有不少共同之处,都属于薄壁结构,因此它们的结构分析与设计原理、方法有相同或相似之处。本书提炼出各种不同飞行器在结构上的相似之处,阐述它们共性的结构分析与设计原理、原则与方法,使学生掌握飞行器相通的设计方法。重点介绍飞机、导弹的结构分析与设计的基本知识,对于载人飞船、航天站、航天飞机、人造卫星等飞行器,主要阐述其构造与设计特点。内容上力求全面而精练,既涵盖各种类型的飞行器,又达到知识的有机整合而非简单组合。本书既介绍飞行器结构分析与设计的基本概念、原理、原则与方法,又反映了当前航空航天技术发展的新成果,注重对新结构形式、新材料、先进设计原理和方法的介绍。

参加本书撰写工作的有郦正能(第4章、第2、9章部分)、张玉珠(第2、8、9章部分)、方卫国(第1、3、12章,第11章部分)、程小全(第5章部分、第10章)、王利民(第6、7章,第11章部分)、吴永康(第5章部分、第8章)、贾玉红(第5章部分)。郦正能任主编,张玉珠、方卫国任副主编,全书由崔德刚教授主审。本书在编撰过程中,参考了大量国内外的文献资料和兄弟院校的有关教材,在此,对原作者深表感谢。

崔德刚教授和杨秉宪教授审阅本书后,提出了许多宝贵意见。根据他们的意见,我们对原稿一一作了修改,在此专诚致谢。管德教授在百忙中审阅了全稿,提出了宝贵意见,并为本书作序,在此表示衷心感谢。本书的编写得到了国家教育部、北京市教育委员会和北京航空航天大学等的支持和资助,在此一并致谢。

在编撰过程中,我们力求阐述全面、系统、准确,论述简练,通俗易懂,但由于本书涉及面广,加上我们的水平和时间有限,对于书中存在的不足之处,至诚希望读者和专家批评、指正。

编者

2003年5月

# 再版前言

作者编写《飞行器结构学(第2版)》一书的宗旨是进一步将航空与航天飞行器结构的设计技术融为一体,更好地适应当前和今后一段时期本科生与研究生教学的需求,并希望它能成为一部既可作为飞行器设计学科教学的主要教材,又可作为航空和航天技术人员的参考书。

本书以部件分析与设计为主线,尽可能将同一类部件的相关内容和知识组织在一起,进一步归纳、总结,提炼各种飞行器的共同点,阐述它们在结构分析与设计原理、方法等方面的共性,将各种飞行器结构设计技术有机地结合在一起,对于本书在前一部件中用到并已介绍过的技术与知识,在后述部件中只对其特点作简要介绍。科学技术飞速发展,近五年来已有许多新成果。本书力求将最新的飞行器结构设计技术编写在相关章节中。

改版后的教材力求内容精练,重点突出。全书共分7章。第1章叙述飞行器的分类、组成和设计的一般过程。第2章介绍飞行器结构设计思想演变和发展,重点介绍飞行器结构设计思想与技术。第3章介绍飞行器的外载荷和设计情况。第4章和第5章介绍飞行器机体结构的特点、结构分析与设计的基本概念,设计原理、准则与方法。第6章介绍飞行器起落装置的形式及其结构特点,基本原理和设计方法。鉴于复合材料结构的特点,其结构形式和设计原理、方法与金属结构有很多不同之处,故于第7章中专题进行介绍。

参加本次再版修订工作的有郦正能(第3、5章部分)、程小全(第7章,第4章部分)、方卫国(第1、2章,第4章部分)、贾玉红(第6章)、张玉珠(第3、5章部分)、张纪奎(第5章部分)。郦正能任主编,程小全、方卫国任副主编。本书以原版内容为基础,同时参考了国内外的最新文献资料,在此,对原版书的作者深表感谢。

本书的再版修订得到了国家教育部、北京市教育委员会和北京航空航天大学等单位的资助和支持,在此一并致谢。

在再版修订过程中,我们力求阐述既系统准确,又通俗易懂。但由于本书内容涉及面广,加上我们的水平有限,书中定有不尽如人意之处。对本书存在的不足之处,至诚希望专家、读者批评指正。

编者

2009年12月



# 目 录

第 1 章 飞行器结构设计引论	1
1.1 飞行器的分类和用途	1
1.1.1 航空器	1
1.1.2 航天器	2
1.1.3 火箭和导弹	4
1.2 飞行器的主要组成部分及功用	5
1.2.1 航空器的主要组成部分及其功用	5
1.2.2 航天器的主要组成部分及其功用	7
1.2.3 火箭和导弹的主要组成部分及其功用	14
1.3 飞行器研制的一般程序	17
1.3.1 飞机、导弹研制的一般程序	18
1.3.2 航天器研制的一般程序	20
习 题	21
第 2 章 飞行器结构设计思想和方法	22
2.1 飞行器结构设计思想的演变	22
2.1.1 静强度和刚度设计阶段	22
2.1.2 强度、刚度和疲劳安全寿命设计阶段	24
2.1.3 强度、刚度、损伤容限和耐久性(经济寿命)设计阶段	25
2.1.4 结构可靠性设计阶段	27
2.2 飞行器结构设计的基本内容	28
2.3 飞行器结构设计方法	33
2.3.1 结构有限元分析方法	33
2.3.2 结构优化设计	37
2.3.3 数字化设计	40

2.3.4	多学科设计优化	42
	习 题	44
<b>第3章</b>	<b>飞行器的外载荷和设计情况</b>	<b>45</b>
3.1	飞行器的外载荷和过载	45
3.1.1	作用在飞行器上的外载荷	45
3.1.2	过载和过载系数	46
3.2	安全系数与设计载荷	52
3.2.1	使用载荷	52
3.2.2	设计载荷	52
3.2.3	安全系数	53
3.3	飞机设计情况	54
3.3.1	典型飞行情况和机动过载	54
3.3.2	飞机对称机动飞行包线和相应参数确定	57
3.3.3	突风过载飞行包线	64
3.3.4	弹性变形引起载荷修正	65
3.3.5	飞机在起飞降落过程中的载荷	66
3.3.6	其他特殊情况载荷	68
3.4	导弹或火箭的设计载荷	69
3.4.1	地面载荷	70
3.4.2	空中载荷	75
3.5	航天器的设计载荷	78
	习 题	79
<b>第4章</b>	<b>飞行器翼面结构分析与设计</b>	<b>80</b>
4.1	翼面的功用与设计要求	80
4.2	翼面的载荷与内力	82
4.3	翼面主要受力构件的用途和结构	84
4.4	翼面结构形式	89
4.5	典型翼面结构的传力分析	95
4.5.1	传力分析的一般原理	95
4.5.2	翼面典型结构形式传力分析	100
4.5.3	翼面对接处和翼身连接结构的传力	112
4.6	后掠翼的结构特点与受力分析	124

4.6.1	后掠翼的结构和受力特点 .....	124
4.6.2	后掠翼根部的传力特点 .....	126
4.6.3	变后掠翼和前掠翼的结构与承力特点 .....	133
4.7	三角翼的结构特点与受力分析 .....	139
4.8	翼面结构形式的确定与结构布置 .....	143
4.8.1	翼面结构设计的原始依据、工作内容与步骤 .....	143
4.8.2	翼面结构布局设计 .....	144
4.9	翼面结构元件设计 .....	157
4.10	翼面开口区结构设计 .....	172
4.11	尾翼与操纵面结构分析与设计 .....	181
4.12	翼面增升装置 .....	196
4.13	折叠翼面结构设计 .....	201
4.13.1	舰载飞机的折叠翼 .....	202
4.13.2	折叠弹翼 .....	203
4.14	旋翼系统结构设计 .....	206
4.15	飞行器结构设计的气动加热问题 .....	213
4.15.1	气动加热现象 .....	213
4.15.2	气动加热对结构设计的影响及防护措施 .....	215
4.15.3	飞船(航天飞机)的防热结构 .....	216
4.16	飞行器结构的刚度设计和气动弹性问题 .....	222
4.16.1	飞行器结构的刚度设计 .....	222
4.16.2	翼面变形对气动载荷的影响 .....	224
4.16.3	翼面的扭转变形扩大 .....	225
4.16.4	超声速飞行中的弯曲变形扩大 .....	226
4.16.5	操纵面反效 .....	227
4.16.6	颤 振 .....	228
	习 题 .....	231
<b>第 5 章</b>	<b>飞行器机体结构分析与设计 .....</b>	<b>238</b>
5.1	机体结构的功用、结构特点和设计要求 .....	238
5.1.1	功 用 .....	238
5.1.2	结构特点 .....	238
5.1.3	设计要求 .....	240
5.2	机体结构的载荷及其平衡 .....	241

5.2.1	机体的主要外载荷 .....	241
5.2.2	总体受力特点与载荷平衡 .....	243
5.3	典型结构形式及传力分析 .....	245
5.3.1	典型结构元件及其功用 .....	245
5.3.2	典型结构形式和结构布局设计 .....	246
5.3.3	典型结构的传力分析 .....	259
5.4	加强框的受力分析和设计 .....	269
5.4.1	加强框的结构形式及其受力分析 .....	269
5.4.2	加强框的设计 .....	276
5.5	开口区结构受力分析和设计 .....	281
5.5.1	开口和口盖的分类 .....	282
5.5.2	开口区受力分析和结构设计 .....	284
5.6	机体的连接和分离机构设计 .....	291
5.6.1	起落架与机体连接 .....	291
5.6.2	发动机在机体上的安装 .....	294
5.6.3	机体设计分离面的对接和分离机构设计 .....	298
5.7	气密舱和密封结构设计 .....	308
5.7.1	气密舱设计 .....	308
5.7.2	整体油箱(贮箱) .....	325
	习 题 .....	333
<b>第 6 章</b>	<b>飞行器起落装置设计 .....</b>	<b>337</b>
6.1	飞机起落架的布置形式及设计要求 .....	337
6.1.1	起落架的功用和组成 .....	337
6.1.2	起落架的布置形式 .....	337
6.1.3	起落架的设计要求 .....	341
6.2	飞机起落架的外载荷 .....	344
6.2.1	着陆过载 .....	344
6.2.2	着陆时减震系统吸收的功量 .....	345
6.2.3	起落架的外载荷 .....	345
6.3	飞机起落架的结构形式和受力分析 .....	348
6.3.1	桁架式起落架 .....	348
6.3.2	梁式起落架 .....	348
6.3.3	混合式起落架 .....	355

6.3.4	多轮小车式起落架 .....	356
6.4	飞机前起落架构造 .....	357
6.4.1	稳定距 .....	357
6.4.2	摆 振 .....	358
6.4.3	减摆器 .....	358
6.4.4	转向机构和纠偏机构 .....	360
6.5	飞机起落架缓冲装置 .....	361
6.5.1	起落架减震器的要求 .....	361
6.5.2	减震器的类型 .....	362
6.5.3	油气式减震器的构造和工作原理 .....	364
6.5.4	油气式减震器的工作特性 .....	366
6.5.5	减震器的特性系数和性能调节装置 .....	369
6.5.6	全油液式减震器的构造和工作原理 .....	372
6.5.7	双气室油气减震器 .....	373
6.5.8	主动控制起落架 .....	373
6.6	航天器起落装置 .....	376
6.6.1	航天飞机起落装置 .....	376
6.6.2	航天器软着陆装置 .....	379
	习 题 .....	381
<b>第 7 章</b>	<b>复合材料结构设计 .....</b>	<b>382</b>
7.1	复合材料性能特点及其在飞行器结构上的应用 .....	382
7.1.1	层合板的表示方法与材料工程常数 .....	382
7.1.2	层合板的性能剪裁与强度估算 .....	385
7.1.3	复合材料湿热环境性能 .....	389
7.1.4	复合材料耐久性/损伤容限特点 .....	390
7.1.5	复合材料在飞行器结构上的应用 .....	392
7.2	复合材料结构制造技术 .....	397
7.2.1	复合材料结构制造工艺特点 .....	397
7.2.2	复合材料制造工艺方法 .....	398
7.2.3	复合材料结构质量控制 .....	402
7.3	复合材料结构设计选材与设计许用值确定 .....	404
7.3.1	复合材料结构设计选材原则 .....	404
7.3.2	原材料性能及其选择 .....	404

7.3.3	飞行器复合材料结构设计选材分析 .....	407
7.3.4	设计许用值的确定 .....	408
7.4	复合材料飞行器结构典型形式 .....	412
7.4.1	复合材料翼盒类结构的结构形式 .....	412
7.4.2	复合材料直升机旋翼桨叶的结构形式 .....	416
7.4.3	复合材料机身的结构形式 .....	418
7.4.4	复合材料直升机机体结构形式 .....	419
7.4.5	复合材料弹/箭身的结构形式 .....	421
7.5	复合材料结构设计 .....	422
7.5.1	复合材料结构设计的一般要求与设计步骤 .....	422
7.5.2	层合板设计 .....	424
7.5.3	夹层结构设计 .....	432
7.5.4	结构件设计 .....	437
7.5.5	结构细节设计 .....	444
7.5.6	结构连接设计 .....	448
7.5.7	复合材料结构可修理性设计 .....	452
7.6	复合材料整体结构 .....	454
7.6.1	复合材料整体结构的应用 .....	454
7.6.2	复合材料结构整体化的技术保障 .....	456
7.6.3	后机身球面框整体结构制造技术 .....	457
	习 题 .....	460
	参考文献 .....	462

# 第 1 章 飞行器结构设计引论

## 1.1 飞行器的分类和用途

在地球大气层内或大气层之外的空间(包括环地球空间、行星和行星际空间)飞行的器械通称飞行器。通常,飞行器可分为三大类:航空器、航天器、火箭和导弹。主要在大气层内飞行的飞行器称为航空器;主要在大气层之外的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,依靠火箭发动机提供推进力的飞行器称为火箭。

### 1.1.1 航空器

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(习惯上称为轻于空气的航空器)和靠航空器与空气相对运动产生空气动力升空飞行的航空器(习惯上称为重于空气的航空器)。

#### 1. 轻于空气的航空器

轻于空气的航空器包括气球和飞艇。它们的升空和飞行是靠空气的浮力或静力。

气球由气囊和吊篮(吊舱)组成,分为热气球和氢气球(氦气球),主要用于高空探测和科学实验研究。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。

飞艇的飞行路线可以控制。它由巨大的流线艇体、装载人或物的吊舱、起稳定控制作用的安定面和操纵面以及推进装置四部分组成,主要用于运输、旅游和航空运动。

#### 2. 重于空气的航空器

重于空气的航空器主要有两类:固定翼航空器和旋翼航空器。

固定翼航空器包括飞机和滑翔机。飞机由动力装置产生前进推力(或拉力),由固定机翼产生升力,在大气层中飞行;滑翔机在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)或降低高度(位能转变为动能)继续飞行。

旋翼航空器包括直升机和旋翼机。直升机是以动力驱动的旋翼作为主要升力来源,能垂直起落的航空器。直升机与旋翼机的区别是:后者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。

除了上述两种航空器之外,还有一种一直被许多工程师和航空爱好者探索研究而至今尚未成功的、模拟鸟类飞行的扑翼机。

在重于空气的航空器中,飞机和直升机是两种获得广泛应用的航空器。

### (1) 飞机

飞机按其功用可分为军用飞机、民用飞机和科学研究飞机三大类。军用飞机包括歼击机(战斗机)、轰炸机(攻击机)、军用运输机、侦察机、预警机、电子对抗机、反潜机、空中加油机和救护机等。军用飞机的功用主要是完成空中拦截、侦察、轰炸、攻击、预警、反潜、电子干扰、军事运输以及空降等任务。民用飞机是指非军事用途的飞机,包括客机和货机等运输机,还有一些通用航空中使用的飞机,主要用于农业作业、护林造林、救灾、医疗救护、空中勘测和体育运动等。

为了完成各种不同的任务,对不同的飞机就有不同的技术要求。对于军用飞机称为战术技术要求;对于民用飞机称为使用技术要求。它除了飞机最大速度、升限、航程、起飞着陆滑跑距离、载重和机动性(对战斗机)等指标外,还有如能否全天候飞行,对机场以及对飞机本身的维修性和保障性等方面的要求。

从发展看,军用飞机和现代大型旅客机的飞行速度、升限和航程都不断增加。现代战斗机的最大飞行速度通常为声速的两倍多,即  $Ma > 2$ ; 飞行升限约在 20 000 m 以上。为了提高军用飞机的生存力和战斗力,各国正努力发展低可见度的隐身技术,并已在 F-117A 战斗/攻击机和 B-2 轰炸机上获得成功应用。第四代战斗机如 F-22, 强调同时具备隐身技术、超声速巡航、过失速机动和推力矢量控制、近距起落以及良好的维修性等性能。无人机也得到迅速的发展,世界主要军事强国已经大量使用无人机进行空中侦察,并正在进一步研究各种类型的无人作战飞机。现代军用运输机和一些大型远程旅客机的航程和载重越来越大,有的航程可达 10 000 km 以上。军用运输机如 C-5A 载重将近 100 t, 可运载 350 名士兵或一辆坦克加上两架小型直升机; 俄罗斯的安-225 载重则高达 225 t。大型旅客机如波音-747 宽体客机载客可达 500 名。

### (2) 直升机

直升机既能上升下降、空中悬停,又能向前后左右任一方向飞行。

直升机的应用几乎遍及军用和民用的各个领域。在军用方面,可用于通信联络、侦察巡逻、炮兵校射、后勤支援、空降登陆、反潜扫雷、对地攻击、战场救护和空中指挥等方面; 在民用方面,可用于短途运输、医护救灾、森林防火、地质勘探、空中摄影、吊装设备、交通指挥和科学考察等方面。

## 1.1.2 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、恒星际空间中,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。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。

## 1. 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运行。

人造卫星按其用途可分为科学卫星、应用卫星和技术试验卫星。

科学卫星主要用于科学探测和研究,如空间物理探测卫星和天文科学卫星等。

应用卫星是直接为国民经济和军事服务的卫星,种类最多、发射的数量也最多。

技术试验卫星主要用来对航天技术中的新原理、新技术、新方案和新材料等进行试验研究,如重力梯度稳定试验、生物对空间环境适应性试验、载人航天器生命保障系统和返回系统的验证性试验、交会对接技术试验、新传感器空中飞行试验以及轨道拦截技术试验等。

人造卫星按其用途可分为通信卫星、气象卫星、导航卫星、侦察卫星、测地卫星、地球资源卫星和截击卫星等。

### (2) 空间探测器

空间探测器又称深空探测器,包括月球探测器、行星探测器和行星际探测器,用来对月球和月球以远的天体和空间进行科学探测。各种行星际探测器分别用来探测金星、火星、水星、木星、土星以及行星际空间和恒星。美国“旅行者”号探测器是典型空间探测器之一。

## 2. 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(空间站)和航天飞机。

### (1) 载人飞船

载人飞船是用来保障航天员在外层空间生活、工作并能返回地面的航天器,又称宇宙飞船,可分为卫星式载人飞船和登月载人飞船。载人飞船可以独立进行航天活动,也可以作为往返于地面和航天站(或月球)之间的“渡船”。苏联的“联盟”号飞船和美国的“阿波罗”号登月飞船是载人飞船的典型代表。

### (2) 航天站

航天站是可供多名航天员长期生活的航天器。它的运行原理与环绕地球的卫星式载人飞船类似。二者的主要区别是后者运行时间很短,一般仅能使用一次后返回地面。

### (3) 航天飞机

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。它由运载火箭送入轨道,返回地面时可像飞机那样着陆。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)。