



高职高专“十二五”规划教材

航空航天概论 (第2版)

主编 李红军
编著 嵇宁 易磊隽 冯迎辉 邱军
主审 郑力军



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



高职高专“十二五”规划教材

航空航天概论

(第2版)

主 编 李红军
编 著 嵇 宁 易磊隼 冯迎辉 邱 军
主 审 郑力军

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是按照 60 学时“航空航天概论”教学大纲而编写；主要介绍了世界航空航天发展史和我国航空航天事业发展史，飞行器的分类和飞行器概况，飞机飞行的基本原理和高速飞行特点，飞机的基本结构和特点，发动机的类型和基本原理以及飞机的机载设备和机场地面设施保障系统，并介绍了有关航天器的基本分类与结构。

本书可作为高职高专航空院校的教材，也可作为从事航空航天事业的有关人员以及广大航空航天爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

航空航天概论 / 李红军主编. --2 版. --北京 :

北京航空航天大学出版社, 2011.8

ISBN 978-7-5124-0574-5

I. ①航… II. ①李… III. ①航空学—高等学校—教材
②航天学—高等学校—教材 IV. ①V2②V4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 168833 号

版权所有,侵权必究。

航空航天概论(第 2 版)

主 编 李红军

编 著 嵇 宁 易磊隽 冯迎辉 邱 军

主 审 郑力军

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(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:371 千字

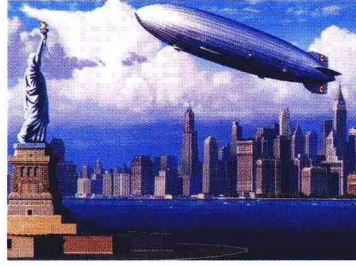
2011 年 8 月第 2 版 2011 年 8 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-0574-5 定价:32.00 元

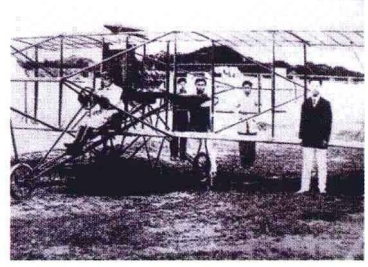
若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024



早期滑翔机



“齐柏林”号飞艇



冯如和他制造的飞机



早期三翼机



早期双翼机



早期单翼机



“零”式飞机



P-51 “野马”



米格-15



F-86



F-4



米格-21



F-15



SU-27



“飞豹”



F-16



SU-33



F-18



EF-2000 “台风”



歼10



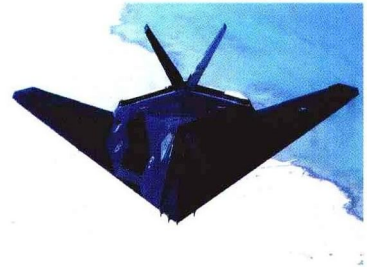
JA-S39



“阵风”



歼20



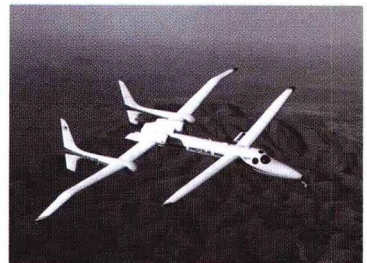
F-117



F-22



T-50



无人机



直9在北极



AC313国产大型民用直升机



AH-64A“阿帕奇”武装直升机



EC155直升机



MH-53A直升机



NP110“山猫”直升机



米-24武装直升机



米-28N武装直升机



V-22“鱼鹰”倾转旋翼机

前 言

本书是按照 60 学时“航空航天概论”教学大纲而编写的,主要作为高职高专航空院校的教材,也可作为从事航空航天事业的有关人员了解航空航天发展事业的概貌、了解航空航天产品的特殊要求、航空航天常用术语以及普及航空知识的教学的参考书,并可作为广大航空航天爱好者了解航空知识的科普读物。本书在编写中力求全面、简要、通俗易懂、图文并茂,同时简略地介绍航空航天发展新动向。

本书内容主要包括:航空航天发展史和我国航空航天事业发展史、飞行器的分类和飞行器概况、飞机飞行基本原理和高速飞行特点、飞机的基本结构、发动机的类型和基本原理以及飞机的设备,并简略介绍有关航天方面的知识和航天成就。

本书第 1 章和第 2 章 2.4~2.6 节由李红军编写,第 2 章的 2.1~2.3 节由冯迎辉编写,第 3、4 章由邱军编写,第 5 章由嵇宁编写,第 6、7 章由易磊隽编写;李红军任主编。全书由郑力军副教授主审定稿。

在本书编写期间参考了航空方面各类教程及有关资料,并得到航空第一集团、航空第二集团许多厂、所、院、校的大力支持,在此表示衷心感谢。另外,周小勇老师参与了部分图形的绘制工作,在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,时间仓促,对于书中存在的错误和不妥之处,欢迎广大师生和读者批评指正。

作 者

2011 年 8 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 世界航空航天发展史	1
1.1.1 从古代的飞行尝试到第一架飞机诞生	1
1.1.2 活塞式飞机的发展和限制	4
1.1.3 喷气式飞机的出现和发展	5
1.2 中国航空航天工业发展概况	8
1.2.1 中国的航空工业	8
1.2.2 中国的航天工业	12
1.3 航空航天技术现状及未来发展趋势	16
1.3.1 航空技术	16
1.3.2 航天技术	18
1.4 飞行器的分类	20
1.4.1 航空的内涵	20
1.4.2 航天的内涵	21
1.4.3 航空与航天的联系	21
1.4.4 飞行器的分类、构成与功用	22
习 题	27
第 2 章 飞机飞行的基本原理	28
2.1 飞行器飞行环境	28
2.1.1 大气层	28
2.1.2 大气的物理特性与标准大气	29
2.2 气流特性	32
2.2.1 相对运动原理	32
2.2.2 稳定气流	33
2.2.3 连续性定理	34
2.2.4 伯努利定理	35
2.3 升力与阻力的产生	36
2.3.1 机翼的形状	36
2.3.2 升 力	38
2.3.3 阻 力	40
2.3.4 影响升力与阻力的因素	44
2.3.5 空气动力的实验设备——风洞	47
2.3.6 空气动力的特性曲线	50
2.4 飞机的主要飞行性能和飞行科目	52
2.4.1 飞机的主要飞行性能	52



2.4.2	飞机的主要飞行科目	53
2.4.3	飞机的稳定性	57
2.4.4	飞机的操纵性	61
2.5	高速飞行概述	63
2.5.1	高速气流特性	63
2.5.2	高速飞行的空气动力	71
2.5.3	高速飞机的外形特点	76
2.5.4	超声速飞行的“声爆”和“热障”	80
2.6	增升装置	82
2.6.1	气动力增升装置	82
2.6.2	动力增升	84
	习 题	84
第 3 章	飞机的基本构造	86
3.1	飞机构造的一般要求	86
3.2	飞机结构所采用的主要材料	87
3.3	飞机的基本构造	88
3.3.1	机翼的构造	88
3.3.2	尾翼的构造与形式	93
3.3.3	机身的构造	94
3.3.4	飞机的起落架	97
3.3.5	飞机的主要工作系统	101
3.4	常用飞机的构造特点	107
3.4.1	军用飞机的构造特点	107
3.4.2	民用飞机的构造特点	109
3.4.3	直升机的构造特点	110
	习 题	112
第 4 章	航空发动机	113
4.1	航空动力系统概述	113
4.2	活塞式发动机的基本组成部分	114
4.2.1	活塞式发动机的组成及工作原理	114
4.2.2	活塞式发动机的辅助工作系统	115
4.2.3	螺旋桨	116
4.3	空气喷气发动机	118
4.3.1	喷气发动机产生推力的原理	118
4.3.2	喷气发动机的性能简述	119
4.3.3	涡轮喷气发动机的构造和工作原理	119
4.3.4	飞机常用涡喷发动机简介	122
4.3.5	涡轮发动机的反推力及装置	127



4.3.6 无压气机的空气发动机	127
习 题	128
第 5 章 飞机机载设备	130
5.1 航空仪表	130
5.1.1 飞行仪表	130
5.1.2 导航仪表	137
5.1.3 发动机仪表	137
5.1.4 系统状态仪表	138
5.1.5 电子综合显示系统	139
5.1.6 电子综合显示器	143
5.2 航空器的导航技术	146
5.2.1 无线电导航	146
5.2.2 卫星导航系统	150
5.2.3 惯性导航	152
5.2.4 图像匹配导航(制导)技术	154
5.2.5 天文导航	157
5.2.6 组合导航	159
5.3 飞行器自动控制	160
5.3.1 自动驾驶仪	160
5.3.2 飞行轨迹控制	162
5.3.3 自动着陆系统与设备	165
5.3.4 电传操纵	167
5.4 其他机载设备	168
5.4.1 电气设备	168
5.4.2 用电设备	168
5.4.3 通信设备	169
5.4.4 雷达设备	172
5.4.5 高空防护救生设备	175
5.5 航空武器系统	177
5.5.1 航空武器发展概况	177
5.5.2 航空机关炮	178
5.5.3 机载火箭弹	179
5.5.4 航空炸弹	180
5.5.5 导 弹	181
习 题	190
第 6 章 机场地面设施保障系统	191
6.1 机场及地面保障设备	191
6.1.1 机场建筑	191



6.1.2	地面保障设备	194
6.1.3	机场救护设备	196
6.2	空中交通管理	196
6.2.1	塔台指挥调度	197
6.2.2	空域航线管理	198
6.2.3	航班运行过程	200
	习 题	201
第7章	航天技术	202
7.1	航天器的飞行原理	202
7.1.1	宇宙速度	202
7.1.2	轨道要素	203
7.1.3	卫星轨道	204
7.2	航天器基本分类与结构	205
7.2.1	人造地球卫星	206
7.2.2	载人飞船	207
7.2.3	空间探测器	208
7.2.4	空间站	209
7.2.5	航天飞机	210
7.3	航天发射场	211
7.3.1	航天发射场的组成	212
7.3.2	世界主要航天发射场	213
7.3.3	发射窗口	215
7.4	运载火箭	216
7.4.1	运载火箭的组成	216
7.4.2	运载火箭的发展	217
	习 题	220
	参考文献	221

第 1 章 绪 论

1.1 世界航空航天发展史

航空航天事业的发展是与人类认识自然和改造自然的进程以及社会生产力的发展相适应的。人类为了扩大社会生产,必然要开拓新的活动空间。从陆地到海洋,从海洋到天空,再到宇宙空间就是这样一个人类征服自然、扩展活动空间的过程。航空航天事业是人类拓展大气层和宇宙空间的产物。经过一百多年来的不断发展,航空航天已经成为 21 世纪最活跃和最有影响的科学技术领域。该领域取得的重大成就标志着人类文明的高度发展,也代表着一个国家科学技术的发展水平。

从古至今,航空航天技术的发展可以归纳为三个发展阶段。

1.1.1 从古代的飞行尝试到第一架飞机诞生

1. 早期的航空理想和飞行尝试

几千年来,人类在征服自然的过程中,一直向往着能像鸟一样在空中自由翱翔,并幻想飞上月球。例如,我国的飞天、嫦娥奔月,阿拉伯的“飞毯”和希腊神话等,这些理想只是幻想和神话。随着生产力的发展和改造自然能力的增强,人类逐步对航空和飞行进行了许多探索和尝试。

中国的风筝是航空器的始祖。风筝又称纸鸢(yuān),在中国大约有 2 000 年的历史,相传最早的风筝出自汉朝大将韩信之手。风筝传到西方后,它的滑翔原理成了飞机空气动力学方面最有价值的飞行机理之一。

几千年来,我国劳动人民在实现飞行这一美好愿望的努力中有过许多重要的创造。在风筝出现之前,春秋战国时期的墨子和鲁班曾制造过能飞的木鸟,又称木鸢。五代时期出现孔明灯,又叫松脂灯,被看成是现代热气球的雏形。东晋时代创造了名为“竹蜻蜓”的玩具,其飞行原理和今天的直升机非常类似。在国外,人们对飞行也在不断地进行尝试。在中世纪的欧洲,曾经有人企图用羽毛制成翅膀飞行。这种模仿鸟的飞行活动一直持续到 17 世纪。文艺复兴时期,意大利艺术家和科学家达·芬奇科学地研究了飞行问题,把对鸟飞行的长期研究结果写成了《论鸟的飞行》一书。后人根据此书

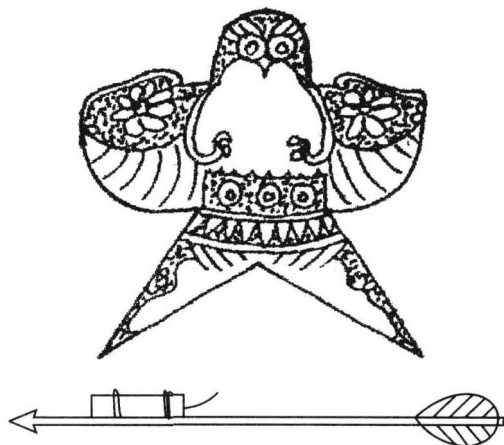


图 1.1 中国的风筝和火箭



和他的一些别的手稿,公认他为航空科学的先知。17世纪后期,意大利另一位科学家研究了人类肌肉与飞行的关系,指出人类肌肉的力量还不足以像鸟那样振动翅膀作长时间的有效飞行,这个结论宣告像鸟一样的扑翼飞行的失败。不过,人类付出的这些努力为最终实现飞行积累了宝贵的知识和经验。经过长期的探索,人们终于依靠比空气轻的航空器迈出了成功升空飞行的坚实的第一步。

2. 从气球到飞艇

18世纪中期,工业革命使轻而结实的纺纱品成为可制造气球的优质材料。1783年6月4日,法国的蒙哥尔费兄弟用麻布制成的热气球成功地完成了升空表演。他们在气球开口处燃烧湿草和羊毛发烟,烟充满气球并使球内的空气受热,热空气的密度小于气球外的冷空气,从而达到气球升空的目的,取得了最早的热气球升空效果。

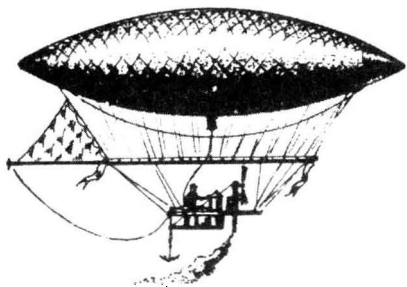


图 1.2 第一艘飞艇

蒙氏兄弟的热气球升空引起了当时许多科学家的重视。1783年11月21日,法国人罗捷尔和达尔朗德乘坐蒙哥尔费气球,在约1000 m高的空中飞行了约12 km,完成了人类首次乘坐航空器飞行的伟大壮举。1783年12月1日,法国科学家夏尔和助手罗伯特乘坐氢气球,在巴黎升空进行了自由飞行。同年,法国又出现了查理的氢气球,后来由于氢气易燃易爆而改用氦气,便成为氦气球。因为气球构造简单,又适用于科学考察和航空运动,因此一直沿用至今。1887

年8月22日,天津武备学堂教师华蘅芳制造的中国第一个氢气球在天津放飞成功。但最初的气球是一种没有操纵装置的航空器,只能随风漂流,使用很不方便。1852年,法国人亨利·吉法尔在气球上安装了一台功率约为2237 W的蒸汽机,用以驱动一个三叶螺旋桨,使其成为第一个可以操纵的气球。这就是最早的飞艇。同年9月24日,他驾驶这艘飞艇从巴黎飞到特拉普斯,航程28 km,完成飞艇历史上的首次载人飞行。

1899年,德国人齐伯林设计并制造了第一艘硬式飞艇。这艘飞艇采用汽油为燃料的内燃机为动力,带动螺旋桨推动飞艇前进,大大提高了飞艇的飞行速度。它具有圆柱形的艇身,长128 m,直径11.58 m,内充氦气;艇下有两个吊舱,可乘5人。1900年7月2日,该艇在德国首飞成功,在300 m高度飞行了15 km。“齐伯林”飞艇很快成为具有实用价值的航空器,并在民用运输以及轰炸、巡逻和侦察等军事用途方面发挥了作用。

1899年,华侨谢纘泰在香港设计完成的“中国”号电动飞艇的详细图纸资料,为中国最早的飞艇设计资料。

3. 世界上第一架飞机的诞生

气球和飞艇的成功,为人类发明飞机积累了丰富经验。人们逐渐意识到,要使飞机能够成功飞行,必须解决它的升力、动力和稳定操纵问题。19世纪初,英国人G·凯利首先提出利用固定机翼产生升力和利用不同的翼面控制并推进飞机的设计概念。为验证该理论的有效性,他于1849年制造了第一架滑翔机,并进行了试飞。关于飞机的动力和稳定操纵问题,当时存在两种观点:有人主张先解决飞机的动力问题,因为那时蒸汽机的效率不高,难以实现飞机的



动力飞行；另一些人主张先解决飞机的稳定操纵问题，试图先通过滑翔机的飞行获得这方面的知识，然后在滑翔机上安装发动机。1883年，效率较高的汽油内燃机问世，为飞机的动力飞行提供了条件。支持第一种观点的美国科学家S·P·兰利设计了内燃机为动力的飞机，但试飞均告失败，原因是没有解决飞机的稳定操纵问题。支持第二种观点的德国人O·李林达尔与他的弟弟合作，于1891年制成一架滑翔机，成功地飞行了30 m的距离，后来他们又制造出多架单翼和双翼滑翔机；不幸的是，在5年后的一次飞行试验中，李林达尔因滑翔机失事牺牲。

19世纪末，美国人莱特兄弟潜心钻研李林达尔的著作和他的实践经验，采取先利用滑翔机获得飞机稳定操纵的知识，再安装发动机实现飞机的动力飞行。他们通过风洞试验，纠正了前人的一些错误。仅在1903年，兄弟俩就制作了200多个不同形状的机翼模型，进行了上千次的风洞试验。通过大量的试验，他们发现了增加升力的原理，认识到飞机的平衡、上升和转弯可通过偏转舵面来实现，还发现了保持飞机横侧稳定的方法，从而基本解决了飞机的操纵稳定问题，奠定了飞机飞行原理的理论基础。

随着蒸汽机、内燃机和船用螺旋桨的出现和应用，不少人开始研制动力飞机，但都未能飞上天空，唯有美国的莱特兄弟获得成功。莱特兄弟从研究风筝和滑翔机入手，吸取了前人航空和造船经验，并做了大量试验，终于制成了一架装有8.82 kW(12马力)活塞式发动机的飞机——“飞行者一号”(如图1.3所示)，在1903年12月17日试飞成功，并飞行了36.6 m，成为世界上公认的第一架动力飞机。莱特飞机开创了现代航空的新纪元。从第一架飞机诞生至今不过才103年，飞机已有了飞跃发展。

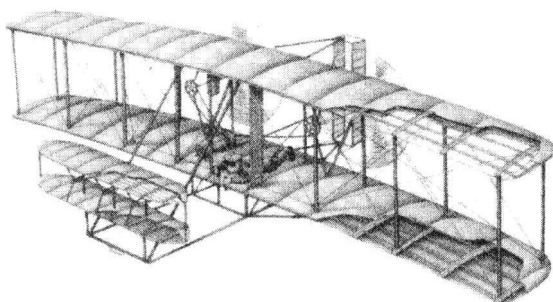


图 1.3 第一架飞机“飞行者一号”

到1909年美国、法国和英国都先后建立了飞机制造公司，随后俄国也有了飞机制造厂。在第一架飞机问世不久，我国也有不少人研制飞机，其中突出的有冯如和谭根。旅美华侨冯如于1907年在美国旧金山建厂制造飞机。他博采众长，自行研制了一架新飞机，并于1909年9月21日亲自试飞上天，飞行805 m，当时美国《旧金山观察报》在头版以大字标题惊呼“中国的航空技术超过西方”，并以《东方的莱特在飞翔，自制的双翼机》为题报道了这次试飞经过，还刊登了冯如的照片和飞机。1911年2月，冯如携机回国参加革命，1912年8月25日在飞行表演中失事牺牲，年仅29岁。谭根也是我国早期的飞机设计师和飞行家，1908年赴美学习飞行和制造，1910年制成船身式水上飞机，获万国飞机制造大会比赛第一名，以后又创造了当时水上飞机飞行高度的世界纪录。



1.1.2 活塞式飞机的发展和限制

1. 战争促进航空工业的发展

20 世纪初飞机出现后,很快被用于战争,两次世界大战使飞机得到迅速发展。飞机在战争中大规模的使用,使战争由平面转向立体化,并且成为对战争全局有重大影响的重要因素。战争的需要又反过来促进航空工业的发展,飞机的研究、设计、制造和使用有了明确分工,并且形成了独立的产业部门和独立的军种——空军。

在 1911 年意土战争中,意大利首先利用飞机进行侦察和轰炸,这是飞机用于战争之始。随后各交战国也都使用了飞机。1914—1918 年第一次世界大战中,各国均已建立空军,飞机参战规模愈来愈大:大战初期,参战飞机共有一千多架;到了末期,双方投入飞机已有上万架。飞机最初只用来侦察,形成侦察机。双方侦察机在空中相遇时,互用手枪射击,出现了早期的空战,后来又改用步枪和机枪,形成了驱逐机。随着战争的需要,最初由飞行员用手扔炸弹而发展成翼下吊挂炸弹的专用轰炸机。以后又出现了专门攻击地面的强击机。第一次世界大战后空军成长为一支重要的军事力量,第二次世界大战中空军更显示了举足轻重的作用。1939 年德国出动两千多架飞机闪电般地占领欧洲大片领土。空战规模也更加扩大。1945 年柏林之战,苏联投入飞机 8400 架,德国迎战飞机 3300 架;1944 年轰炸柏林时,美国一周内共出动飞机 9700 架。图 1.4 为第二次世界大战中的一场空战场景。

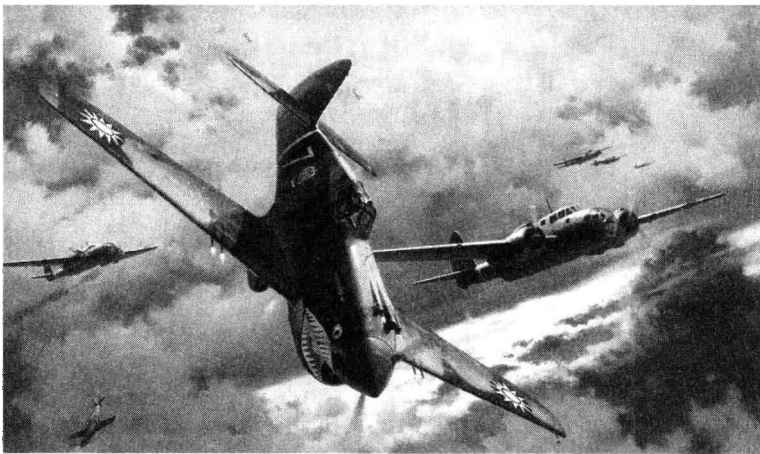


图 1.4 第二次世界大战的空战场景

空军的发展又促使航空工业大发展。在第一次世界大战中,各国共生产飞机 18 万余架。在第二次世界大战中,生产飞机总数已达到 70 多万架,其中,美国和苏联各生产十多万架。航空工业已形成独立的产业部门,并且建立了专业研究机构,使飞机的外形、结构和设备均更加完善,性能更加提高。

2. 活塞式飞机的最高成就

战争的需要同时也促进飞机性能的提高。除了不断改善操纵性和武器装备功能外,更主要的是提高飞机的速度,而提高飞机速度的主要措施是靠增大发动机的功率和改善飞机的外形。从第一架飞机出现到第二次世界大战末的 40 年里,飞机的动力装置是由活塞式发动机独



霸的。活塞式发动机的功率随着速度增加的需要而大幅度提高,从 8.82 kW(12 马力)增长到 2572.5 kW(3500 马力)。有的飞机上还装有多台发动机,如当时最大的轰炸机——美国 B-29 就装有 4 台 1837.5 kW(2500 马力)活塞发动机,使该机总功率达到 7350 kW(10000 马力)。飞机的速度也从 16 km/h 提高到 755 km/h。飞行速度的提高,不仅依靠发动机功率的增大,而且与飞机外形的改善密切相关。飞机的发展是人们在不断解决矛盾中取得的。

莱特飞机问世以前,也曾有不少人研制过动力飞机,他们都因飞机过重(采用笨重的蒸汽机)、升力过小(缺少升力理论)而失败。这是飞机发展中的第一个矛盾——升力和重力的矛盾。莱特兄弟正是总结了前人的经验和教训,采用了较轻的内燃机和升力大的翼型,解决了这个矛盾,终于试飞成功。莱特飞机以及第一次世界大战中所用的飞机都是双翼机,还有三翼机和盒形机等,都是为了增大机翼面积以提高升力。但是,这些增升面积和交叉的支柱、张线却使飞机阻力大大增加,虽成倍提高发动机的功率,但飞机的速度却增长缓慢。这就出现了新的矛盾——拉力和阻力的矛盾,这是飞机发展中的第二个矛盾。为了解决这一矛盾,必须着手改造飞机外形布局,减少机翼面积,将双翼机改为单翼机,并减少支柱和张线的阻力,使飞机的速度显著提高。随着金属材料的使用,1915 年首先出现的斜撑张臂式单翼机在 20 世纪 20 年代以后已普遍采用,飞机的速度也由战前的 180 km/h 提高到 280 km/h。30 年代以后,有撑杆的单翼机完全由无撑杆全金属单翼机代替,飞机外形进一步向流线型方向发展,起落架由固定式改为收放式,发动机汽缸的排列也由星形交叉式改为 V 形串联式,驾驶舱也由开敞式改为封闭式。所有这些外形的改进,都大大减少了飞机的阻力。在第二次世界大战中,飞机速度便猛增至 600 km/h 以上。1939 年德国战斗机 Bf-109 还创造了活塞式飞机速度的最高纪录 755 km/h。这已经达到了活塞式发动机的极限速度,速度再进一步增长,又会再碰到新的矛盾——拉力与重力的矛盾,这是发展中的第三个矛盾。

3. 活塞式飞机的限制和应用

当活塞式飞机的速度增至 700 km/h 以上时,再增加发动机功率是困难的,而且也是很难实现的。第一,增加功率就要增加发动机汽缸的容积和数量,但这却会导致发动机本身的重力和体积成倍增长,从而不仅会使飞机阻力猛增,而且因为发动机重力过重而使飞机内部结构无法安排。欲使速度提高 1 倍,功率必须增加 8 倍,发动机重力也随之增长 6 倍,竟与原机总重力相等。而换装同样功率的喷气发动机,发动机重力和飞机总重力均可保持不变,速度却增大 1 倍。第二,活塞式发动机是靠螺旋桨产生拉力的,当飞行速度和螺旋桨转速进一步提高时,桨叶尖端将会产生激波,使螺旋桨效率大大降低,这也限制飞机速度的提高。因此,活塞式发动机发展到第二次世界大战末期时,已经达到了它的顶峰,要继续提高飞机速度必须选择新的动力装置。

因为螺旋桨在低空低速飞行时效率高,活塞式发动机的经济性很好,所以目前许多小型低速飞机仍然使用它。相反,由于喷气发动机噪声大、油耗高、经济性差,不少中、低速喷气客机都采用与螺旋桨相结合的喷气发动机,如涡轮螺旋桨发动机、涡轮风扇发动机,还有新型的螺旋桨风扇发动机。

1.1.3 喷气式飞机的出现和发展

1. 喷气飞机的问世

当活塞式发动机受到限制后,各国都在探讨新的动力装置。根据“中国箭”的反推力原理,