



现代航空工程

XIANDAI HANGKONG GONGCHENG

昂海松 曾建江 童明波 等编著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

现代航空工程

昂海松 曾建江 童明波 等编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要以现代航空工程系统过程技术为主线,阐述了航空市场需求、飞行品质、先进制造技术、飞行试验、飞行安全、可靠性工程、飞机的维修、民用飞机的适航性技术、飞行器环控与救生技术、直升机技术等技术发展,使航空技术人员了解解除飞行器设计技术以外的主要航空工程技术。

本书可供航空类专业的学生、研究生、教师和从事航空工程的相关技术人员、管理人员使用参考,也可供航空爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

现代航空工程/昂海松等编著. —北京:国防工业出版社, 2012.9

ISBN 978-7-118-08266-1

I. ①现… II. ①昂… III. ①航空工程—教材 IV. ①V2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 185962 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 23 字数 528 千字

2012 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 59.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010) 88540777

发行邮购:(010) 88540776

发行传真:(010) 88540755

发行业务:(010) 88540717

本书编委会

(按姓氏笔画排序)

王华明 许 峰 朱书华 陈仁良 郑祥明
昂海松 姚卫星 童明波 曾建江

参编人员

(按姓氏笔画排序)

王 菡 王一丁 叶 斌 庄晓曦 刘 富
孙 璇 陈滨琦 赵 翔

前 言

随着航空技术的发展,综合各种高新技术研究成果集成于航空工程,因此,一百多年来航空工程技术不断细化,不但飞行器有形形色色的类型,而且仅飞行器设计与制造技术就又派生出飞行器总体设计、飞行力学与空气动力学、结构设计、发动机设计、飞行器制造、飞行控制、飞行器环境控制、航空电子、航空任务装备等二级学科。多年来高等学校和研制单位,针对各类航空专门技术培养出了大量深入精通的技术专家。

然而,飞行器毕竟是一种综合产品,现代飞行器所集成的各种先进技术相互关联性越来越强,这就要求飞行器工程师,无论是总设计师,分系统设计师,还是参与相关设计制造的技术人员,必须了解本专业以外的航空工程系统性知识。单纯掌握本专业技术已不能满足现代飞行器研制的需要。

不但航空工程系统内部的技术相互紧密联系,而且航空工程研制技术外部的社会性、经济性、使用性、管理性等因素对航空科技发展的影响也是相互交叉关联,至关重要,并且与设计研制技术相互作用制约。从更广泛的技术角度,现代航空工程是研究、设计、制造、试验、使用、维修和管理的系统工程。作为一名航空技术人员或航空管理人员,应该了解航空工程的全过程。对于航空类专业的学生来说,只有全面了解现代航空工程技术,才能提高综合素质和工程观念。

本着这一目的,本书力求阐述目前航空专业教科书通常较少提到的有关航空工程系统内外部过程技术,包括市场需求、飞行品质、先进制造技术、飞行试验、飞行安全、可靠性工程、飞机的维修、民用飞机的适航性技术、飞行器环控与救生技术、直升机技术等。

本书各章的编著者分别由以下教授承担:第一章昂海松,第二章陈仁良,第三章王华明,第四章郑祥明、昂海松,第五章昂海松,第六章曾建江,第七章姚卫星,第八章童明波、朱书华,第九章曾建江、郑祥明,第十章许峰;王菡、叶斌、刘富、庄晓曦、赵翔、孙璇、陈滨琦、王一丁等同志参加了本书内容和图文的整理和编著工作;周进、李凤鸣、黄小霞、朱建辉等同志参加了校对工作。本书编写参考了大量文献资料,这里向所参考文献的作者表示感谢。

由于编著者水平有限,以及现代航空工程技术不断在发展,其错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

2012年5月

目 录

第 1 章 航空市场需求和技术发展	1
1.1 民用飞机发展需求	1
1.1.1 民航运输	1
1.1.2 民用飞机设计思想	2
1.1.3 民用客机发展	2
1.2 军用飞机发展的需求	4
1.2.1 各类型飞机研发原则	4
1.2.2 美国军机选型策略	5
1.2.3 战斗机分代	7
1.3 无人机发展的需求	11
1.3.1 军事侦察和电子战需求	12
1.3.2 无人作战飞机	13
1.3.3 无人机民用市场	15
1.3.4 微型飞行器	16
1.4 未来航空发展的技术需求	17
1.4.1 空气动力技术	17
1.4.2 发动机技术	18
1.4.3 新材料	19
1.4.4 智能结构	19
1.4.5 光传控制技术	19
1.4.6 自由飞技术	20
1.4.7 虚拟现实技术	20
1.5 飞机主要供应商简介	20
第 2 章 直升机及其技术发展	32
2.1 直升机概述	32
2.1.1 直升机分类	34
2.1.2 直升机特点	35
2.2 民用直升机的应用和发展	44
2.2.1 石油天然气勘探开发	44
2.2.2 抢险救援	45
2.2.3 商务运输	46
2.2.4 公安执法	48

2.2.5	消防灭火	48
2.2.6	空中吊运	49
2.2.7	空中摄影、摄像	50
2.2.8	能源管线检查	50
2.2.9	农林喷洒作业	51
2.2.10	我国民用直升机发展现状	52
2.3	军用直升机的应用和发展	54
2.3.1	武装直升机	54
2.3.2	军用运输直升机	60
2.3.3	战勤直升机	62
2.3.4	军用直升机发展	63
2.4	直升机展望	64
2.4.1	直升机性能的提高	65
2.4.2	新型直升机	68
2.5	世界主要直升机供应商	71
第3章	飞行器的飞行品质	73
3.1	概述	73
3.2	飞行品质与飞行安全	75
3.3	飞行品质规范	78
3.3.1	飞行品质规范的意义	78
3.3.2	飞行品质规范的发展	78
3.3.3	国军标 GJB 185—86 的基本内容	82
3.4	飞行品质的评价方法	84
3.5	飞机的稳定性和操纵性	86
3.5.1	飞机的稳定性	86
3.5.2	飞机的操纵性	91
3.5.3	纵向飞行品质要求	93
3.5.4	横侧向飞行品质要求	96
3.5.5	典型飞机飞行品质介绍	97
3.5.6	空战仿真中引入飞行品质	102
3.6	直升机的飞行品质	103
3.6.1	直升机飞行品质的含义	103
3.6.2	直升机对操纵指令的响应类型	106
3.6.3	纵列式直升机的飞行品质	108
第4章	飞行试验工程	112
4.1	飞行试验的管理	112
4.1.1	飞行试验的分类	112
4.1.2	飞行试验的程序	113
4.1.3	飞行试验的管理	114

4.2 飞机的飞行试验	116
4.2.1 飞机飞行性能试验	116
4.2.2 飞行性能试飞方法	117
4.2.3 飞机结构验证试验	118
4.2.4 飞机颤振试验	118
4.2.5 飞机振动环境试验	119
4.2.6 飞机抖振试验	119
4.2.7 失速-过失速-尾旋试验	119
4.2.8 动力装置性能试验	119
4.2.9 飞行控制系统试验	120
4.2.10 导航系统试验	120
4.2.11 地面控制站性能试验	121
4.2.12 机载任务设备试验	121
4.2.13 民用飞机适航性试验	122
4.3 直升机飞行试验技术	122
4.3.1 直升机飞行试验概述	122
4.3.2 垂直上升	123
4.3.3 垂直下降及涡环状态	124
4.3.4 前飞、后飞和侧飞	125
4.3.5 直升机的起飞	127
4.3.6 直升机的爬升	128
4.3.7 直升机的下滑	128
4.3.8 直升机的着陆	128
4.3.9 其他参数对悬停特性的影响	129
4.3.10 悬停回转	129
4.4 世界著名飞行试验基地	130
4.4.1 美国爱德华空军飞行试验中心	130
4.4.2 法国卡佐飞行试验中心	135
4.4.3 法国达索飞行试验中心	140
4.5 我国首架喷气式支线客机 ARJ21-700 飞行试验	142
第5章 先进制造技术	144
5.1 现代制造技术的发展	144
5.2 航空先进制造技术	149
5.2.1 CAD 无图纸设计技术	149
5.2.2 CAM 数控制造技术	150
5.2.3 先进材料加工技术	157
5.3 先进装配技术	169
5.3.1 三维数字化装配工艺设计	169
5.3.2 三维数字化装配工艺过程仿真	172

5.4 先进检测技术	174
5.4.1 目视检查法	175
5.4.2 声阻法	175
5.4.3 射线检测技术	175
5.4.4 超声检测技术	176
5.4.5 声-超声检测技术	176
5.4.6 涡流检测技术	177
5.4.7 微波检测技术	177
5.4.8 激光超声检测技术	177
5.5 产品数据管理系统	178
5.5.1 产品数据管理系统的功能需求	178
5.5.2 产品数据管理系统的发展	179
5.5.3 产品数据管理系统的开发与应用	179
第6章 飞行与安全	182
6.1 航空运营安全统计	182
6.2 导致航空事故的各种原因	183
6.2.1 偶然因素	184
6.2.2 技术因素	188
6.2.3 人为因素	190
6.2.4 起飞着陆阶段	193
6.3 黑匣子	194
6.4 飞行事故分析	195
6.4.1 事故分析基本术语	196
6.4.2 飞行事故等级划分	196
6.4.3 如何应对飞机失事	197
6.5 飞机安全性技术	198
6.5.1 安全性参数及基本概念	199
6.5.2 安全性技术的历史	200
6.5.3 安全性技术的发展	202
6.5.4 系统安全性评估	203
6.6 近15年空难纪实	204
附录1 飞行事故征候条款	207
附录2 中国民用2航空飞行事故调查条例	210
附件:调查飞行事故提要	213
附录3 民用航空器飞行事故应急反应和家属援助规定(CCAR-399)	215
第7章 可靠性工程	223
7.1 可靠性工程简介	223
7.1.1 可靠性工程的基本概念	223
7.1.2 可靠性工程的发展	224

7.1.3 可靠性工程与质量管理	227
7.2 可靠性的概念	228
7.2.1 可靠性的定义	228
7.2.2 可靠性的分类	229
7.3 可靠性函数	230
7.3.1 可靠度函数	230
7.3.2 故障分布函数	230
7.3.3 浴盆曲线—典型故障率曲线	231
7.4 可靠性定性要求	232
7.4.1 故障模式影响分析 (FMEA)	233
7.4.2 故障树分析 (FTA)	237
7.5 可靠性试验和验证	240
7.5.1 可靠性试验的基本概念	240
7.5.2 可靠性试验的实施过程	243
7.5.3 可靠性验证试验	251
7.5.4 可靠性增长试验	256
第8章 飞机的维修性	258
8.1 航空维修基本概论	258
8.2 航空维修工程	259
8.2.1 维修性工程	259
8.2.2 航空维修的分类	260
8.2.3 维修方式	261
8.2.4 维修的工作类型	263
8.2.5 维修级别	264
8.2.6 航空维修特点	264
8.2.7 航空维修的内容	266
8.3 维修性设计	266
8.3.1 维修性的定性要求	266
8.3.2 维修性的定量要求	268
8.3.3 维修性模型	269
8.3.4 维修性分配	271
8.3.5 维修性预计	272
8.3.6 维修性试验与评定	273
8.3.7 飞机结构维修性设计	273
8.4 维修原理	275
8.4.1 维修理论的产生与发展	275
8.4.2 现代维修理论	276
8.4.3 MSG	277
8.5 民用航空维修	279

8.5.1	民航维修分类	279
8.5.2	维修方案	281
8.5.3	我国航空器维修的发展	282
8.5.4	民航维修业市场	283
8.5.5	国内外民用航空维修企业情况	285
8.6	维修案例	288
8.6.1	美国空军的维修保障	288
8.6.2	民用飞机复合材料的维修	290
第9章	民用飞机适航技术	293
9.1	适航性简介	294
9.1.1	适航的概念	294
9.1.2	适航的发展	295
9.1.3	适航术语	296
9.1.4	适航性的特点	298
9.2	适航标准	298
9.3	适航性责任	300
9.4	适航管理	300
9.4.1	适航管理的机构、文件与证件	301
9.4.2	局方的适航管理证件制度	302
9.4.3	申请人的适航管理	302
9.4.4	适航管理在航空安全保障系统工程中的作用	302
9.5	我国民用直升机和适航管理	303
9.5.1	民用直升机的初始适航管理	303
9.5.2	民用直升机的持续适航管理	305
9.5.3	民用直升机进出口产品的适航管理	306
9.6	适航符合性验证常用方法	306
9.6.1	功能危险分析	307
9.6.2	故障模式影响分析	307
9.6.3	故障树分析	308
9.6.4	共因故障分析	308
9.7	运输类飞机设计发展趋势和适航发展趋势	309
附录1	适航证书	309
附录2	中华人民共和国民用航空器适航管理条例	310
第10章	飞行器环控与救生技术	313
10.1	飞行器环境控制	313
10.2	外界大气条件和人体生理基础	314
10.2.1	大气构造	314
10.2.2	低压环境下人体生理基础	316
10.3	环控系统各子系统简介	317

10.3.1 引气及空气分配系统 317

10.3.2 空气分配系统 318

10.3.3 加温系统 319

10.3.4 制冷系统 320

10.3.5 空气循环系统 320

10.3.6 座舱的压力控制 321

10.3.7 座舱的温度控制 322

10.3.8 座舱的湿度控制 322

10.3.9 飞机防冰系统 323

10.4 高性能军用机环境控制系统研究发展趋势 325

10.5 国外飞机综合环境控制系统 328

10.5.1 发展状况 328

10.5.2 发展综合环境控制系统的原因 328

10.5.3 综合环境控制系统构成 329

10.6 大型飞机环境控制系统 332

10.6.1 波音 B-767 环境控制系统 333

10.6.2 新旧两代民用喷气式飞机比较 339

10.6.3 座舱空气质量检测结果 340

10.7 安全救生 341

10.7.1 弹射救生技术 341

10.7.2 防护救生装备 346

10.7.3 降落伞系统 348

10.7.4 F-22 “猛禽” 战斗机座舱 350

参考文献 355

第 1 章 航空市场需求和技术发展

航空是 20 世纪以来人类取得的最重大的科技成就之一。从 20 世纪初莱特兄弟的 12s 可操纵动力飞行到近年美国航空航天局 (NASA) 开发的超过一个月连续飞行的系列无人机, 从最初巡航速度 60km/h 的汉德利·佩季 HP-42 到马赫数 3.5 的“黑鸟”战斗机和马赫数 2 的“协和”客机, 从简单的空中观察、枪械对射到歼击机、轰炸机、侦察机、无人机协同作战的不断发展, 飞行器从大气层内向外空间发展直至火星, 航空在百余年中历经了全面而惊人的快速发展。

1.1 民用飞机发展需求

民用飞机的交通特点是远程、快捷、方便、舒适, 它给人类跨域活动带来了极大的变化。如今, 民用运输机已经成为人类日常生活中必不可少的交通工具, 尤其是远距离或跨洋旅行。

1.1.1 民航运输

固定翼飞机用于民间客运始于 1914 年。1914 年 1 月 1 日, 美国东南部的佛罗里达州开辟了一条飞越海湾, 连通圣彼得斯堡和坦帕两座城市的旅游航线, 每天两班。两地间旅行坐船要 2h, 乘火车需要 12h, 汽车需要 24h, 而乘飞机在当时却只需 23min。该航线在旅游季节共运营了 5 个月, 载客 1204 人次, 充分显示了空运的优越性。民航运输随后也得以迅速发展 (图 1.1)。

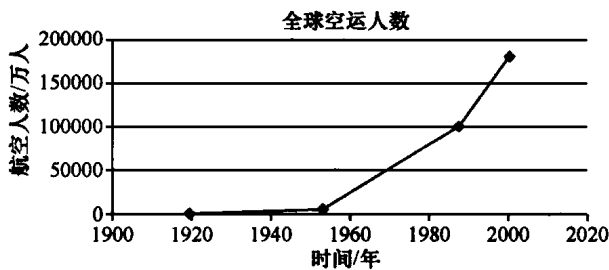


图 1.1 20 世纪全球空运总人数的增长

- 1919 年, 世界航空运输客运量为 3500 人。
- 1953 年, 国际航空运输协会 (IATA) 发布公告, 全年空运人数首次超过 5000 万人次。
- 1958 年, 乘飞机飞越北大西洋的人数第一次超过乘坐越洋轮船的人数。
- 1987 年, 全球搭乘飞机的旅客首次超过 10 亿人次。

2000 年, 达到 18 亿人次。

据波音公司预测, 世界民用飞机机队总数到 2023 年将增加一倍多, 达到 35000 架。未来 20 年间有 6400 架飞机将退出商用服务队伍而被替换, 另外有 18600 架飞机填补新增的市场需求。目前, 在运营的机队中有大约 60% 的飞机可以在未来 20 年内继续运营。

预计今后 20 年内, 中国航空运输仍将快速增长, 民用飞机市场将不断扩大。到 2019 年, 预计中国客机拥有量将达到 1739 架, 新增 1588 架客机, 其中大中型喷气客机 1294 架, 而 150 座级飞机仍是国内航线的主力机队。在新增飞机中, 150 座级以下的中小型飞机将占机队总数的 77%。支线飞机将是新需求点, 预计未来 20 年中国国内小型飞机机队有一个较大发展, 将新增支线飞机 443 架。

预计 20 年后, 支线飞机在机队中的比例将由目前的 12% 增加到 26%, 增加量和拥有总量在各类飞机中均居前列。

1.1.2 民用飞机设计思想

“以客户为中心”是航空市场竞争的结果, 它起源于 20 世纪 80 年代初期美国民航业的旅客服务。今天的航空市场已经今非昔比, 在激烈的市场竞争中已经不是要不要“以客户为中心”, 而是怎样更好地执行“以客户为中心”。“以客户为中心”不仅成为市场竞争的真谛, 而且已经成为民航企业生存的基础。

以客户为中心, 即以客户的需求为中心。要明确产品必须能够满足旅客与货主的需求。这就要求从飞机的设计之初渗透这一理念, 最大程度的满足客户需求。

飞机设计师必须建立一种真正的以旅客为中心的飞机设计观念, 现代与未来民营飞机在设计中需从以下方面出发:

- (1) 加大一次性载客量, 从而降低票价, 使更多的人可以选择坐飞机旅行。
- (2) 拥有洲际不着陆航程, 几小时就能达到目的地。
- (3) 具有类似海平面高度的客舱气压, 保证每个座位都获得 100% 的新鲜空气。
- (4) 增加舒适性, 如在大型飞机上有多个通道, 座位更宽敞些 (如每两个一组, 没有任何旅客被夹在中间, 如图 1.4 所示)。
- (5) 确保行李摆放方便安全, 存储箱容易取放。
- (6) 通道多、舱门多、舷梯多, 旅客能迅速上下。
- (7) 开发燃烧更充分、噪声更小、耗油更少、推力更大、重量更轻的发动机。
- (8) 不断改进, 以满足社会提出的“少一点噪声、少一点污染”的需求。
- (9) 发展全电系统, 这有利于低成本、经济飞行。
- (10) 确保任何情况下的安全。

综合民用飞机设计的主要问题和难点在于: 如何提高飞行品质, 良好的经济性和确保安全性。

1.1.3 民用客机发展

随着现代科学技术的发展, 作为一个技术高密集度的产品, 民用飞行器的设计思想、技术和方法也发生了革命性的变化。从 20 世纪 50 年代投入航线运营的第一代大型客机波音 707 到不久才进入市场的波音 787 (图 1.4) 和法国空中客车 A380 (图 1.5), 民用客机以几乎每隔十年更新一代的速度飞速发展。

目前，大型民机主要以“大展弦比机翼、后平尾、单垂尾”的常规布局为主，这是由飞机大承载和远航程的技术要求所决定的，同时这种布局具有较好的纵向和横向飞行稳定性。在此基础上，综合考虑发动机进气道对流场品质的特殊要求、结构/强度要求及降噪要求，发展了翼吊和尾吊两种发动机短舱布局；研制出带双缝或三缝后缘襟翼的大展弦比细长机翼，使提高飞机的气动效率与保持合理的结构/强度要求之间的矛盾得到协调解决；翼型不断更新，超临界翼型和高效亚声速翼型普遍采用，飞机运载能力的升力特性随之改善；采用多种形式的翼尖设计，减弱翼尖涡。

由于接近声速飞行时的强激波作用，大展弦比小后掠角机翼的亚声速常规布局运输飞机已不能适应“声速”和“超声速”飞行了。要实现超声速飞行的运输机，必须克服“声障”，减小激波强度，因此必须采用小展弦比大后掠角机翼设计。第一代超声速客机（如“协和”号客机和图-144 客机）都采用了无尾布局形式，如图 1.2 所示。气动专家屈西曼等人还创造性地设计了 S 形的大后掠机翼前缘，能形成稳定的脱体前缘涡而产生很大的非线性升力，大大改进了低速、大迎角时升力特性。大型超声速飞机也有采用鸭式布局设计的，尤其是大型高超声速飞机更细长，而且机翼比较小（图 1.3），如果仍用无尾布局，难于控制纵向稳定。

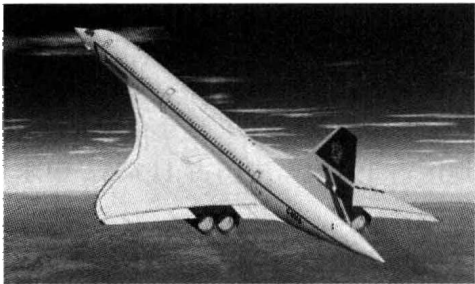


图 1.2 “协和”超声速客机

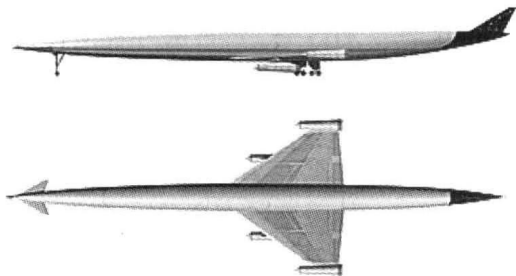
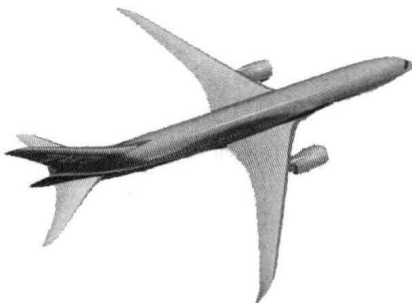


图 1.3 A2 超声速客机设计方案

飞翼式布局（BWB）是正在发展、也是未来大型飞机的重要形式。波音公司于 1994 年—1997 年在 NASA 的资助下，提供了一个 800 座位、航程 12971km、巡航速度为马赫数 0.85 的飞翼式先进客机的设计方案，其缩小型样机如图 1.6 所示。他们研究的翼身融合体与按同样设计要求的常规布局的性能做比较，显示 BWB 的最大起飞质量要比常规的低 15%，巡航的升阻比也从常规的 19 增大到 23，需用推力比常规的减小 1/3，因此每英里的耗油率会降低 27%。



(a) 波音 787 客机外观



(b) 波音 787 客机客舱

图 1.4 波音 787 客机



图 1.5 A380 客机



图 1.6 BWB 概念客机

1.2 军用飞机发展的需求

市场预测未来 10 年世界各国对军用飞机的需求量为 3000 架,总价值将近 1300 亿美元,平均每架飞机的价值将近 4700 万美元,战术航空兵作战飞机年均出口数量将达到 210 架。

2005 年—2015 年,世界战斗机出口市场分布情况:俄罗斯占 25%,欧洲国家占 29%,美国占 31%,其他国家占 15%。

按照地区划分,未来 10 年世界航空市场战斗机购买国家及地区主要分布情况是:欧洲和加拿大占 20.4%,南亚地区占 14.3%,东南亚地区占 19.1%,中国占 11.4%,中东和北非占 3.4%,拉美地区占 3.4%,独联体占 2.5%。

到 2015 年,世界军用运输机市场需求预计将达到近 700 架。其中,有 500 架将被发展中国家购买,其分布情况:亚洲和太平洋地区占 39%,中东地区占 27%,拉美地区占 15%,非洲地区占 19%。

1.2.1 各类型飞机研发原则

早期的军用飞机并没有分类,把地面上用的机枪、炸弹带到飞机上:用机枪扫射地面人员就是“攻击机”;用炸弹投向地面目标就是“轰炸机”;用望远镜观察阵地就是“侦察机”;用机枪射击敌方飞机就是“歼击机”。

随着战争的需求和飞机技术的发展,才发展出各司其职的各种军用飞机,如歼击机、攻击机(强击机)、轰炸机、侦察机、预警机、运输机、电子干扰机、无人机等。不同种类的飞机在战场上发挥不同的作用,而又互相配合。

每一种军用飞机都要根据其主要承担的作战任务和在整个武器系统中所处的“位置”来确定其战术技术特点和发展重点。因此,军用飞机的研制和发展必须考虑以下几个问题。

1. 执行不同任务的定位

如用于执行对地攻击任务的飞机大体可分为三类:

第一类是战略轰炸机。

第二类是执行战役对地攻击任务的歼击轰炸机或战斗机的歼击轰炸型。

第三类是执行战术对地攻击任务的强击机或战斗机改型。

这三类飞机虽然都是执行“对地攻击”，但原则上讲是各有各的“位置”的，一般不能互相取代。

2. 高、低档搭配

以战斗机为例，首先要明确：是“高档”飞机、还是“低档”飞机。是远程作战飞机、还是近程作战飞机。是以空战为主、还是以对地攻击为主等。

如美国的 F-16 战斗机，它是一种技术先进、性能和作战效能都很不错的飞机，但它需要与 F-15 战斗机形成“高低搭配”。F-16 战斗机与 F-15 战斗机相比，它的机载电子设备要相对简单些，飞机的尺寸和价格也要小一些和低一些。F-16 战斗机与 F-15 战斗机协同执行作战任务时，分工也是比较明确的，一般都是由 F-15 战斗机执行制空掩护任务，F-16 战斗机主要是执行对敌机攻击任务，而 F-15 战斗机主要是执行对地攻击任务。

每一种飞机在整个武器系统中都有它的主要使命和位置，主要是要把自己的使命完成好，而不是去多占位，否则整体作战能力是不可能充分发挥的。

3. 改进（改型）与更新换代的关系

改进型作为军用飞机的一个发展途径，备受重视，但它并不能取代更新换代。因为，一般来讲，改进型是属于量变的范畴，而更新换代却是一个质变的过程。飞机靠改进（改型）取得的性能改进总是有限度的，一般来说是不能跨越“代沟”的，改进型飞机是在原先型号飞机的基础上增加或改进性能，设计成本低，研制周期短，往往收到事半功倍的效果。如美国 YF-16 原型战斗机，F-16A 战斗机第一种生产型，F-16B 双座战斗/教练机，F-16C 单座轻型战斗机，F-16D 战斗机由 F-16C 发展的双座战斗/教练机，NF-16D 变稳定性飞行模拟试验机，F-16N 空战训练机，F-16R 侦察型，F-16XL 超声速巡航试验机，AFTI/F-16 先进技术试验机，F-16/J79 出口型，F-16ADF 防空型等型号。而换代飞机在性能上应有本质性的发展。如第四代战斗机将隐身、高机动性和敏捷性、超声速巡航性能进行了优化折衷和综合，性能水平和作战效能比第三代战斗机有了“台阶”性的提高。它的最大的技术特征就是良好的隐身性能和超声速巡航性能，这是第三代战斗机难于通过改进改型来达到的。

1.2.2 美国军机选型策略

21 世纪初期美国不同军种空中力量将以发展和装备 F-22、JSF 和 F-18E/F 3 种最新美国战术飞机为重点（图 1.7），其装备数量之大，预计耗资高达 2000 亿美元。但政府坚持要发展国家导弹防御系统和由于更加重视发展远程打击力量，重开 B-2 生产线，同时也需要巨额的国防经费投入，这么多的重头戏要唱，孰轻孰重自然要费一番掂量。美国 3 种最新战术飞机计划如何顺利发展还是一个问号。

美国 F-22、JSF（即 F-35）和 F/A-18E/F 这 3 种战术飞机将是 21 世纪美空军、海军和海军陆战队等空中力量的最新主力战机。但由于这 3 种飞机所需数量太大（F-22 战斗机 339 架，JSF 近 3000 架，其中美空军占 1800 架，F/A-18E/F 型战斗机 548 架），共需经费近 2000 亿美元。这意味着在今后较长时间内，美大部分国防经费将要花在这 3 种飞机的研制和生产上。