



飞机总体设计

顾诵芬
解思适

主 编
副主编

北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>



飞机总体设计

顾诵芬 主 编

解思适 副主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

飞机是现代各门高科技的完美结合,是一个国家科学技术进步的标志和综合国力的体现。从飞机机体专业技术来说,有空气动力学、结构力学、材料学和制造工艺等;而要使飞机能飞行并完成规定的任务,还要有动力装置、飞行控制系统、液压系统、电源系统、空调系统、燃油系统、救生系统、航空电子系统以及武器和火力控制系统等。飞机总体设计的任务就是要把这些不同的专业技术和系统创造性地综合到一起,使飞机整体性能优化,达到规定的战术技术要求。本书共 14 章,可分成三个部分:第一部分是飞机设计工作的简介;第二部分介绍组成飞机设计的各专业技术和系统;第三部分是在各专业技术和系统的基础上综合成总体方案并进行分析,包括重量估算、总体布置、性能和安定操纵性分析以及最终的飞机总体参数选择。

本书是高等航空航天院校飞行器专业课教材,也可供飞行器专业研究生和相关专业教师阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

飞机总体设计/顾诵芬主编. —北京:北京航空航天大学出版社,2001.9

ISBN 7-81012-917-1

I. 飞… II. 顾… III. 飞机-系统结构-设计
IV. V221

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 55469 号

飞机总体设计

顾诵芬 主 编

解思适 副主编

责任编辑 陶金福

责任校对 陈 坤

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市学院路 37 号(100083) 发行部电话(010)82317024

<http://www.buaapress.com.cn>

E-mail: pressell@publica.bj.cninfo.net

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: 26.75 字数: 685 千字

2001 年 9 月第 1 版 2006 年 1 月第 4 次印刷 印数: 4 001~6 000 册

ISBN 7-81012-917-1/V·050 定价: 31.00 元

前 言

中华人民共和国成立后,在 1956 年党中央号召向自然科学进军和周总理领导编制 12 年自然科学发展规划的浪潮中,航空工业局在沈阳飞机制造厂建立了我国第一个飞机设计室。设计室的主任是徐舜寿同志,副主任是黄志千和叶正大同志,组成人员是 1951、1952 年航空院校毕业生和 1956 年南航、沈航的毕业生。当时除徐舜寿、黄志千同志设计过飞机外,其他人员都是新手。但当时我们已经仿制成功了螺旋桨教练机雅克—18 和跨声速喷气式歼击机 J—5。徐舜寿同志的指导思想是在实践中组建,设计室的第一个任务是设计一架“需要与可能”相结合的中级喷气教练机——歼教—1。当时的做法是机内系统设备基本上借用 J—5 的;我们的任务主要是设计机壳,保证气动、强度和结构;功能系统基本上也是借用 J—5 的。这样设计难度不大,加上年轻人的干劲,不到 2 年时间,于 1958 年 7 月 26 日,中国自行设计的第一架飞机就首飞成功了。这一成功,却给部分同志一个错觉,误认为飞机设计并不困难,好像 20 世纪 50 年代学校教的那些材料也够用了。这种思潮一直延续到文化大革命以后,甚至航空院校认为飞机设计没有什么好教的,为了评职称、评成果,大批搞飞机设计的教师都转向了结构有限元分析和优化设计,以至于 20 世纪 80 年代以来的飞机设计专业毕业生分配到设计研究所后,大都一时拿不起工作,要经过几年实践之后才能逐步胜任工作。

另一方面,改革开放后与国外航空发达国家一接触,发现我们和国外歼击机的差距关键在功能系统,特别是航空电子火控系统。飞机设计已不能再停留在气动、结构、强度等专业,要设计出现代化的歼击机,总体设计人员必须懂得组成优良歼击机的各个系统。由于各种系统的专业技术不断发展,系统设计的人员越来越深地陷入了本专业的技术发展,而忽视了本专业在飞机总体中的作用,因此摆在总体设计人员面前要权衡折衷的问题越来越多。飞机设计实际上是一门能够合理地折衷各种专业矛盾,而使飞机整体最优的工程专业。根据北京航空航天大学的要求,我们决定撰写这本书。

飞机设计过程是个在综合、分析、决策间相互迭代的过程。本书分三部分:第一部分是飞机设计工作的简介;第二部分是组成飞机设计的各专业技术,如气动力、强度、结构、动力装置、进/排气系统、起落装置、操纵、液压、电源、空调、救生、航空电子及火力控制等;第三部分是在以上专业基础上合成总体方案并进行分析,包括重量估算、总体布置、性能和安定操纵性分析以及最终的飞机总体参数选择。

本书突出飞机总体设计的工程实践,因此,主要强调飞机是怎样构成的;对每个系统都强调它们在飞机上的作用、它们的组成以及在飞机上安装要注意些什么问题;给出了典型的系统原理图,并力求能给出这些系统及其主要附件的重量、体积、能源和空调要求的数量级,使总体设计时能够构思一个飞机的立体概念。

设计飞机的起步当然首先是制定战术技术要求,以前的飞机设计书上都省略成“按使用方

制定的要求”。本书则借鉴俄国航空系统研究院的经验,介绍了新机战术技术要求的制定方法;至于系统综合成飞机方案也力求从工程概念着手,而不谈计算机辅助设计方法;因为综合优化必须先有优化的工程目标,这是以物理概念为主,而不是只靠计算机去设计。至于达到多目标优化的过程,可以用计算机来完成。这些计算方法应在计算机专业课中讲,所以本书就省略了。

本书的作者都是我国第一个飞机设计研究所中长期在飞机设计第一线经历过二代半歼击机的设计,并探索了第三代和第四代歼击机的设计的各专业技术骨干。他们除了根据亲身经历的实践来探讨飞机设计外,还对专业技术发展作了展望。

本书主要讲原理和设计中应考虑的问题,同时也给出了实际工作中应该参考的一些规范和手册的目录,以便读者将来工作时自己去开拓。

阅读本书前读者须具备空气动力学、飞行力学、飞机结构和强度等方面的专业知识。

飞机设计还必须考虑研制飞机的费用和单机造价。虽然国外同类书上都有经济性一章,而且还列出了计算研制费用的项目、方法和公式。但是我国目前正处于计划经济到市场经济的转变过程,很多政策都在变化,如工时费就很难按过去的办法去计算。这个主要因素不确定,则材料、成品、试验设施和工艺装备等就很难估算费用。由于本书已介绍了飞机及其系统的研制过程,将来真要估算研制费用,可以按各设计阶段的工作内容,根据当时国家的经济情况来估算。

本书着重介绍歼击机的总体设计,对其他固定飞机翼也有所涉及,至于直升机和垂直起降飞机都有专著,本书就不包括这些内容了。

本书的编写得到北京航空航天大学 and 沈阳飞机设计研究所的大力支持,特别是北航何庆芝、夏人伟教授对全书原稿作了全面审阅,并提出了宝贵意见,因此专诚致谢!

由于参加编写的同志大多是在业余时间编写的,所以不可能有充裕时间反复推敲文字,难免有错漏之处;还因为每个章、节都是分人写的,虽然我们负责主编的也曾协调过,但相关专业内容,可能仍有一定的重叠。为了使本书早日与读者见面,书中可能有不尽人意之处,希望读者指正,并欢迎向我们返馈意见,争取修订再版。

此外,本书副主编解思适研究员不幸未能得见本书出版就病逝了。他生前为出版此书,精心组织各位作者编写,自己撰写一部分并审校了全文,倾注了满腔的心血,在此对他表示感谢和怀念。

本书各章作者:

- | | |
|---------|-------------------------|
| 第 1、2 章 | 顾涌芬 |
| 第 3 章 | 李 天 |
| 第 4 章 | 解思适 |
| 第 5 章 | 崔德刚 |
| 第 6 章 | 贾 鑫、高振声 |
| 第 7 章 | 解思适、骆长天、王子元、潘广江 |
| 第 8 章 | 王钱生、邵荣士、杨桢祥、裴国钧、宋季琛、董玉民 |
| 第 9 章 | 周秀珍、王宗文、李必江、贾 鑫、解思适 |

第 10 章	刘孟诏
第 11 章	贾 鑫、王大瑜、赵天意
第 12 章	许维进、李 兵
第 13 章	李陆豫、顾诵芬
第 14 章	顾诵芬
主 编	顾诵芬

1999. 2. 21

目 录

第 1 章 绪 论

1.1 飞机的高技术和复杂性	1
1.2 研制飞机的五个阶段	2
1.3 飞机设计的特点	4
1.4 飞机的设计要求	6
1.5 一个特例	7
复习题	9
参考文献	9

第 2 章 飞机总体设计的第一次近似

2.1 概 述	11
2.2 飞机主要总体参数的选择	15
2.3 初步重量估计	16
2.4 确定飞机的推重比和发动机的选择	18
2.5 飞机的气动特性和翼载	21
2.6 小 结	26
复习题	26
参考文献	26

第 3 章 飞机的气动布局

3.1 翼型选择	27
3.1.1 概 述	27
3.1.2 翼型的几何参数	27
3.1.3 常用的翼型族系	28
3.1.4 翼型的气动特性	29
3.2 机翼外形设计	33
3.2.1 概 述	33
3.2.2 机翼几何形状定义	33
3.2.3 主要几何参数对气动特性的影响	34
3.2.4 边 条	36
3.3 翼身组合体	37
3.4 变后掠机翼	40

3.5 机翼的增升装置	41
3.5.1 后缘襟翼	41
3.5.2 前缘襟翼	41
3.6 副翼及横侧操纵面	43
3.7 减速板的气动设计	45
3.8 保证俯仰安定性和操纵性的气动力布局	46
3.9 保证横侧安定性和操纵性的气动力布局	49
3.10 外挂物布局	51
3.11 飞机气动布局形式	52
3.11.1 正常式布局	53
3.11.2 鸭式布局	53
3.11.3 无尾飞机	53
3.11.4 三翼面布局	54
3.12 隐身对气动布局设计的影响	58
3.12.1 隐身技术的基本概念	58
3.12.2 外形隐身设计的基本原则	58
复习题	62
参考文献	62

第4章 飞机的强度设计

4.1 飞机的强度设计情况	63
4.1.1 概述	63
4.1.2 飞机设计强度规范	63
4.1.3 飞机结构强度计算中常用术语	64
4.1.4 军用飞机载荷计算原始数据	64
4.1.5 飞行载荷设计情况的选取	65
4.2 飞机的载荷	67
4.2.1 载荷的类别	67
4.2.2 几类载荷的主要特征	67
4.2.3 部件气动载荷分布	72
4.2.4 载荷的平衡和综合	72
4.2.5 各部件的内力分布	73
4.3 气动弹性设计	74
4.3.1 飞机设计中的气动弹性问题	74
4.3.2 设计要求	75
4.3.3 飞机总体设计中的气动弹性工作	76
4.4 防气动加热的设计	76
4.4.1 气动加热概述	76
4.4.2 气动加热引起结构设计中的主要问题	78

4.5 飞机结构强度设计思想	81
4.5.1 结构疲劳设计	82
4.5.2 结构耐久性设计	82
复习题	83
参考文献	83
第5章 飞机结构布局设计	
5.1 飞机结构布局设计的基本原则和要求	85
5.2 飞机结构布局设计	86
5.3 飞机结构总体布局设计	87
5.3.1 结构总体方案的确定	87
5.3.2 确定设计分离面	90
5.4 部件结构布局设计	90
5.4.1 机翼结构布局	91
5.4.2 机身结构布局形式	101
5.4.3 尾翼结构布局	105
5.4.4 结构工艺分离面确定	106
5.5 全机承力系统综合检查	108
5.6 结构选材要点	108
5.6.1 翼面结构选材要点	109
5.6.2 机身结构选材要点	110
5.6.3 现代飞机选材情况	110
复习题	111
参考文献	112
第6章 机舱及装载布置	
6.1 驾驶舱布置	113
6.2 客舱布置	115
6.3 货舱布置	120
6.4 武器装载布置	121
6.4.1 概 述	121
6.4.2 炮 舱	123
6.4.3 弹 舱	125
6.4.4 武器的外挂方式	127
6.4.5 外挂物的低阻设计	128
复习题	130
第7章 动力装置及燃油系统	
7.1 动力装置概述	131

7.1.1	动力装置的功用和组成	131
7.1.2	发动机类型及其在飞机上的布置	131
7.1.3	发动机性能	133
7.1.4	对动力装置的要求	133
7.1.5	发动机在飞机上各种布置方案的分析	134
7.2	进排气系统设计	135
7.2.1	进气系统设计	135
7.2.2	排气系统设计	146
7.3	动力装置安装	150
7.3.1	作用在发动机安装点上的载荷	150
7.3.2	固定发动机的接头结构	151
7.4	燃油系统	162
7.4.1	燃油系统的功用及组成	162
7.4.2	燃油系统设计的一般要求	162
7.4.3	米格—21 飞机燃油系统简介	164
7.4.4	燃油消耗自动控制系统	167
7.4.5	燃油系统中的安全措施	167
7.4.6	飞机的防火保障系统	168
	复习题	168
	参考文献	168

第 8 章 起落装置及机电系统

8.1	起落装置设计	170
8.1.1	起落装置的功用和组成	170
8.1.2	对起落装置的设计要求	170
8.1.3	起落装置的布置	171
8.1.4	起落架减震器	175
8.1.5	机轮的选择	178
8.1.6	前轮转弯机构	182
8.1.7	收、放起落架	184
8.1.8	起落装置的发展展望	184
8.2	水上飞机船体及浮筒设计	185
8.2.1	船体设计	185
8.2.2	浮筒设计	186
8.3	飞行操纵和控制系统设计	186
8.3.1	概 述	186
8.3.2	飞机操纵系统的设计要求	187
8.3.3	简单机械操纵系统	188
8.3.4	助力机构操纵系统	192

8.3.5	电传操纵系统的组成	195
8.3.6	电传操纵系统工作原理	196
8.3.7	纵向电传操纵系统的功能	198
8.3.8	电传系统的余度技术	200
8.3.9	电传操纵系统的发展方向	202
8.4	液压系统设计	202
8.4.1	液压系统的功用	202
8.4.2	液压系统的组成	202
8.4.3	系统设计的要求	204
8.4.4	系统设计	205
8.4.5	液压系统功率的估算	207
8.4.6	在总体设计中提高生存力和改善维护性的一些措施	209
8.4.7	研制新机时液压、气压系统必需的验证试验	210
8.4.8	关于液压系统的发展	211
8.4.9	飞机液压、气动系统的主要规范和标准	211
8.5	飞机供电系统设计	211
8.5.1	飞机供电系统的功用和组成	211
8.5.2	飞机供电系统的基本要求和类型	212
8.5.3	飞机电气负载分析和电源容量确定	219
8.5.4	飞机发电机的传动和冷却	221
8.5.5	飞机电气系统安装及维修设计要求	223
8.5.6	飞机电气系统主要参考规范	224
8.6	环控与救生	224
8.6.1	飞机环境控制系统	224
8.6.2	应急救生设备	229
	复习题	241
	参考文献	242

第9章 航电系统设计

9.1	通信、导航、识别系统设计	243
9.1.1	系统概述	243
9.1.2	系统组成	243
9.1.3	系统设计	249
9.1.4	系统试验及试飞	252
9.1.5	系统发展方向	252
9.1.6	系统标准及规范	253
9.2	火力控制系统	253
9.2.1	概 述	253
9.2.2	机载火控系统的组成	253

9.2.3	机载火控系统工作原理	254
9.2.4	火控系统的主要设备和制导武器	255
9.2.5	系统结构设计	261
9.2.6	几种基本攻击方式	261
9.2.7	火力控制系统的顶层设计	263
9.2.8	火控系统的发展趋势	265
9.3	飞机总体设计阶段电子战系统的设计	265
9.3.1	电子战在现代战争中的地位	265
9.3.2	航空电子系统的基本原理和主要手段	266
9.3.3	军用飞机机载自卫电子战系统	270
9.3.4	航空电子战的其他手段	277
9.3.5	电子战系统的发展趋势	279
9.3.6	美军典型作战飞机的电子战设备	280
9.3.7	主要规范和标准	281
9.4	航空电子系统在飞机上的综合	282
9.4.1	航空电子综合系统的宏观结构	282
9.4.2	航空电子综合系统的结构特点	285
9.4.3	航空电子综合系统的顶层设计	286
9.4.4	发展趋势	287
9.4.5	航空电子设备机上布置和安装的综合设计	288
	复习题	292
	参考文献	292

第 10 章 重量特性估算和控制

10.1	飞机重量分类	294
10.2	重量估算	297
10.2.1	战斗机重量估算公式	298
10.2.2	符号表	299
10.3	重心位置及惯矩估算	303
10.3.1	重心位置估算	303
10.3.2	惯矩估算	304
10.4	重量控制的主要措施	306
	复习题	306
	参考文献	306

第 11 章 飞机的总体布置

11.1	飞机内部的总体布置	307
11.1.1	发动机与进排气系统的布置	307
11.1.2	燃油箱布置	310

11.1.3	设备舱的布置	311
11.1.4	武器的布置	313
11.2	飞机的外形设计	314
11.2.1	飞机外形的设计要求	315
11.2.2	机翼、尾翼的外形设计	315
11.2.3	机身外形的设计	316
11.2.4	设计机身外形的方法	317
11.2.5	利用 CAD 技术进行外形设计	319
11.3	各系统布置中的协调	321
11.3.1	各功能系统通路协调	321
11.3.2	分区打样协调	321
11.3.3	样机协调	322
11.4	飞机驾驶舱布置	322
11.4.1	飞机座舱与飞机草图设计	322
11.4.2	座舱几何尺寸	326
11.4.3	座舱及仪表板布置	330
11.4.4	航空电子综合系统的人机工程技术	333
11.4.5	有关标准	337
11.5	飞机重量和重心位置校核	338
11.5.1	重量和重心位置校核计算状态	338
11.5.2	飞机重心调整措施	339
11.5.3	重心位置的其他协调更改	340
11.6	飞机总体布置图和三面图的绘制要求	340
11.6.1	总体布置图的绘制要求	340
11.6.2	三面图的绘制要求	342
11.6.3	立体布置图的绘制	343
	复习题	345
	参考文献	345

第 12 章 飞机性能分析

12.1	概 述	346
12.2	飞机的极曲线和升力特性	346
12.2.1	飞机升力特性估算	346
12.2.2	飞机极曲线估算	351
12.3	发动机推力和耗油特性	361
12.4	飞机推力/阻力计算系统	361
12.4.1	飞机进气道附加阻力	362
12.4.2	动力装置可用推力	364
12.4.3	动力装置耗油特性	366

12.5 飞机性能及飞行包线计算	367
12.5.1 飞行包线	367
12.5.2 平飞需用推力(功率)和最大平飞速度计算	368
12.5.3 升限计算	370
12.6 机动性能计算	371
12.6.1 水平加(减)速性能计算	371
12.6.2 盘旋性能计算	372
12.6.3 爬升性能计算	373
12.6.4 能量机动	375
12.7 续航性能计算	378
12.7.1 航程计算	378
12.7.2 续航时间计算	379
12.7.3 最大航程和最大续航时间	379
12.8 起飞、着陆性能计算	380
12.8.1 起飞性能计算	380
12.8.2 着陆性能计算	381
12.9 军用飞机作战有效性分析	381
12.9.1 参数计算法	382
12.9.2 空战模拟方法	384
复习题	385
参考文献	386

第13章 飞机的安定性和操纵性设计

13.1 概述	387
13.2 纵向安定性和操纵性设计	388
13.2.1 纵向静安定性	388
13.2.2 飞机的纵向动安定性	390
13.2.3 飞机的纵向操纵性	391
13.3 飞机的横侧安定性和操纵性设计	394
13.3.1 横侧静安定性	394
13.3.2 飞机的横侧动安定性	396
13.3.3 飞机的横侧操纵性	397
13.4 关于人工增稳系统	399
13.5 小结	399
复习题	399
参考文献	400

第 14 章 飞机总体参数的最终确定

14.1 概 述.....	401
14.2 飞机主要总体设计参数与主要设计战术技术指标的关系.....	401
14.3 飞机主要总体设计参数的优化.....	403
参考文献.....	408

第 1 章 绪 论

1.1 飞机的高技术和复杂性

飞机和其他机器的不同,最突出的是它要在空中飞行,具有高的运输效率和良好的飞行性能,因此对外形要有严格要求,以满足空气动力学的特点。为了能在空中飞行并有一定的运输效率,必须严格控制飞机的空载重量^{*}。世界上所有飞机设计部门都有一句共同的名言,即“为减轻飞机的每一克重量而奋斗”。除了以上两点外,因为飞机是在空中飞行的,一旦出现故障是不能停在空中修理的,所以从设计一开始就得注意飞机的高品质要求,包括:可靠性、安全性、维修性和技术寿命等。要实现这些要求,设计出好的飞机,就必须采用先进的科学技术和继承成功的实践经验。

要使飞机能在空中安全飞行,飞机必须依靠各种专业技术和系统来完成。在机体本身专业技术方面主要有空气动力学、结构力学、材料学、制造工艺等;要使飞机能飞行和完成规定的任务,还应有动力装置、飞行控制系统、液压系统、电源系统、空调系统、燃油系统、救生系统、航空电子系统以及武器和火力控制系统等;同时为保证飞机正常使用,还要有一套地面保障设备,包括:随机设备、定检设备和场站设备等。飞机总体设计的任务就是要把这些不同的专业技术和系统创造性地综合到一起,使飞机整体性能优化,达到规定的战术技术要求。如果各技术专业都从本身的角度出发来设计飞机,则飞机将不成为一架可用的飞机,最形象的结果如图 1.1 所示。这是 1940 年美国著名飞机设计教育家 K. D. 伍德的杰作,为后来所有的飞机设计教科书所引用。

设计一架新飞机,要满足先进的战术技术要求,不仅要在各专业技术上有所创新,而且在综合成新飞机的总体设计技术上也得要有创造性的思维,决不要默守陈规、四平八稳地进行设计,一定要敢于创新、善于创新。同时也要注意,在实现设计要求时必须尽量采用简便途径,不要单纯追求技术先进。飞机设计除了注意专业技术和系统的权衡综合外,还应注意降低成本和缩短研制周期。所以飞机设计人员除了要懂得飞机设计外,还应了解制造工艺,并要有经济观点。

* 在 GB 3102.3—93 中重量是物体在特定参考系中获得其加速度等于当地自由落体加速度时的力。质量在 SI 单位制中是个基本量之一,单位为 kg。但在我国航空部门质量一词是说明产品或工作的好坏、优劣,认为“质量”为航空工业的“生命”,故本书以“重量”代替 SI 单位制中的“质量”,符号仍为 m ,单位为 kg。


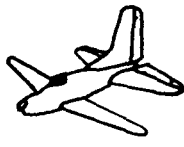
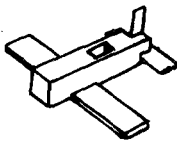
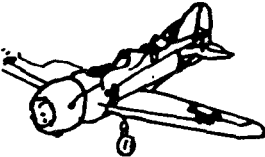
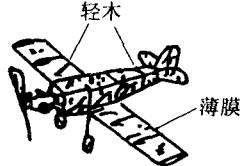

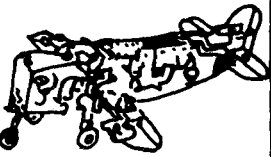



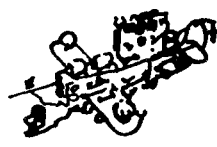



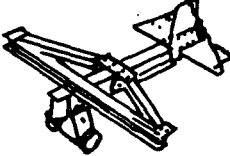
		
机身组	尾翼组	外形组
		
控制组	重量组	制造组
		
液压组	装备组	武器组
		
维护组	电气组	气动力组
		
机翼组	动力组	应力组

图 1.1 从各专业角度出发设计成的飞机

1.2 研制飞机的五个阶段

飞机是一个复杂的系统。新飞机的研制,具有周期长、费用高的特点,因此设计方案一旦决定下来,总是希望能够研制成功,即能够进入批量生产。要做到这一点,就必须按国家的法规和自行研制飞机的经验办事。1995年原国防科工委曾制定了一个关于《常规武器装备研制程序》的正式文件,按它的规定,新飞机的研制可分成五个阶段: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。