

飞机设计

√22

1009

苏联高等
版译文本，
容上和设
效设

中译本
西

飞机设计

〔苏〕 谢·米·叶格尔等著

杨景佐 胡传泰等译

纪绍钧 校

胡传泰



航空工业出版社

1986

609009

内 容 提 要

本书是苏联技术科学博士 C.M.叶格尔教授主编的、经苏联高等与中等教育部批准为航空高等院校的教科书。本书为第三版译文本，第二版于1972年出版。在此期间，航空科学和技术无论在内容上和设计方法上都有了重大发展和变革。传统的设计方法已满足不了高效设计的要求，尤其是在飞机设计中已广泛采用了电子计算机。第三版针对这种特点都做了详尽的阐述和补充。

今后，飞机设计方法还要不断地完善和改进，但其基本原理是不会变的，本书对这些基本原理在设计基础、设计方法和设计决策等方面都做了着重的讲解，并附有例证。

本书共分三大部分：第一部分为设计总论及各类飞机（包括航天飞机）的设计特点；第二部分为飞机各主要部件及其参数的优化设计；第三部分为应用电子计算机自动化设计的方法和特点。

全书约50万字，附有大量图表，附录还有供设计参考的各类数据。

本书可作为航空和航天高等院校及军事院校飞机设计课程的教科书，亦可供设计部门及工厂设计人员参考。

飞 机 设 计

谢·米·叶格尔等著

杨景佐 胡传泰等译

纪绍钧 校

航空工业出版社出版发行

(北京安定门外北苑大院2号)

航空工业出版社印刷厂印刷

1986年11月第1版

1986年11月第1次印刷

787×1092毫米 1/32 印张：23

印数：1—4,000 字数：532千字

统一书号：15448·7 定价：4.00元

译者的话

《飞机设计》系苏联高等院校飞机设计专业本科生教科书的最新版。全书共21章分为三部分：第一部分（1—12章）讲飞机总体设计；第二部分（13—19章）讲飞机部件设计；第三部分（20、21章）介绍飞机自动化设计方法。

本书译者有胡传泰（第6、17章及附录）、陈国钧（第11、12章）杨景佐（序言、第1、2、3、4、5、9、10、16章）周同礼（第13、14、15章）、孔平凡（第7、18章）、虞孟懿（第19章），第8章由王略和杨景佐合译，第20、21章由周同礼和胡传泰合译。

译者认为该书内容较新，已考虑到用计算机辅助飞机设计的问题，全书概念清楚，系统性强，适于做航空院校飞机设计专业本科生的教材，对厂、所从事飞机设计工作的专业人员也是一本很有价值的参考书。

主要符号、缩写和角注

- $A_{\Gamma o}$, A_{Bo} —— 水平和垂直尾翼面积
- a —— 音速, 1吨公里的油耗
- α —— 机翼迎角
- B —— 起落架主轮距
- b —— 机翼弦长
- b_o —— 翼根弦长
- b_k —— 翼尖弦长
- b_A —— 机翼平均空气动力弦长 (CAX)
- C —— 成本
- \bar{C}_o —— 机翼根部相对厚度
- \bar{C}_k —— 机翼翼尖相对厚度
- C_f —— 气动力摩擦系数
- C_m —— 机翼翼型纵向空气动力力矩系数
- c_{m_0} —— $c_{y_a} = 0$ 时的 C_m 值*
- $c_{x_{ai}}$ —— 诱导阻力系数*
- $c_{x_{ap}}$ —— 型阻系数*
- c_{y_a} —— 升力系数
- c_p —— 涡轮喷气发动机耗油率
- c_e —— 涡轮螺旋桨发动机和活塞发动机耗油率
- c_{x_a} —— 迎面阻力系数*
- $c_{x_{a0}}$ —— $c_{y_a} = 0$ 时的 c_{x_a} 值*
- d_ϕ —— 机身直径
- δ —— 操纵面偏转角
- F —— 气流流过的表面面积
- f —— 摩擦系数, 安全系数

- g ——自由落体加速度
 H ——飞行高度
 χ ——1/4弦长线后掠角
 K ——升阻比
 k ——系数
 $c_{y\alpha}^*$ —— $c_{y\alpha} - \alpha$ 曲线斜率
 $g_i = m_i/S_i$ ——飞机部件结构表面密度
 l ——机翼展长
 l_ϕ ——机身长度
 L ——飞行距离, 滑跑距离
 λ ——机翼展弦比
 λ_i ——飞机部件长宽比
 η ——机翼平面内的根削比
 η_0 ——螺旋桨效率
 ψ ——机翼上反角
 φ_0 ——机翼安装角
 M ——飞行M数
 V ——飞行速度
 V_y ——垂直速度
 m ——飞机质量, 涡轮风扇发动机涵道比
 m_0 ——飞机起飞质量
 m_i ——飞机零部件质量
 \bar{m}_i ——飞机零部件相对 m_0 的相对质量
 mg ——重量 (单位十牛顿)
 P ——发动机总推力
 P_0 ——发动机起飞推力
 \bar{P}_0 ——起飞推重比
 P_{i0} ——单台发动机起飞推力

- $= m_{ABG}/P_{i0}$ —— 发动机比重
 N —— 发动机总功率
 N_0 —— 发动机起飞功率
 N_{i0} —— 单台发动机起飞功率
 $\bar{N}_0 = N_0/(m_0g)$ —— 起飞功率重量比
 S —— 机翼面积 (带机身部分)
 S_M —— 最大截面积
 S_i —— 飞机部件相对机翼的相对面积
 $p_0 = m_0g/S$ —— 起飞时的机翼载荷
 p —— 机翼载荷, 压力
 q —— 速压
 ρ —— 空气密度 (ρ_0 —— 地面空气密度)
 $\Delta = \rho/\rho_0$ —— 空气相对密度
 n_p, n_g —— 过载系数计算值和使用值
 $n_{ДВ}$ —— 发动机数目
 $n_{Пac}$ —— 旅客数目
 T —— 温度, 寿命
 τ, t —— 时间
 θ —— 飞行轨迹相对水平面的倾角
 X_a —— 迎面阻力*
 x_T —— 飞机质心到平均气动力弦的距离
 x_F —— 飞机焦点到平均气动力弦的距离
 Y_a —— 升力*

* 为了简化, 在本书中空气动力及其无因次系数在坐标系速度轴上投影的符号中角注“a”省略了。

缩写:

- ВО——垂直尾翼
ВПП——起落跑道
ГО——水平尾翼
ГТД——燃气涡轮发动机
ТРД——涡轮喷气发动机
ТРДД——涡轮风扇发动机
ТРДФ——带加力的涡轮喷气发动机
ТВД——涡轮螺桨发动机
ПД——活塞发动机
СА——标准大气
СВВП——垂直起落飞机
СПС——超音速旅客机
УПС——附面层控制

角注:

- бал——平衡
в.о——垂直尾翼
г.д——发动机短舱
г.о——水平尾翼
г——载荷, 短舱
дв——发动机
доп——容许值
з——襟翼
з.к——后缘
з.п——着陆下沉
кон——结构
кач——滚转
ком——商务

- кр — 机翼
 крейс — 巡航
 крит — 临界 (值)
 м — 最大截面积
 мт — 材料
 м.ф — 机身最大截面积
 0 — 数量的初始值
 н — 载重
 ц.н — 酬载
 н.в — 爬高
 н.з — 导航储备
 об.упр — 设备和操纵
 омыв — 浸润面积
 оп — 尾翼
 отр — 离地
 пас — 旅客
 п.к — 前缘
 пл — 滑翔机
 пос — 着陆
 прерв — 中断、停顿
 проб — 着陆滑跑
 пуст — 空机
 р — 计算
 разб — 起飞滑跑
 расп — 可用的
 р.в — 升降舵
 рейс — 航线
 р.н — 方向舵

| | | | | | | | |
|-----|----|----------|-----|-----|--------|----|-----|
| сл | —— | 公务的 | 翼叶 | —— | рѣ | | |
| сн | —— | 下降 | 轴流 | —— | эаоцл | | |
| с.у | —— | 动力装置 (前) | 界流 | —— | тиця | | |
| т | —— | 燃油 | 叶面流 | 大景 | —— | м | |
| ф | —— | 机身 | 轴叶 | —— | тѣ | | |
| ш | —— | 起落架 | 叶面流 | 大景 | 叶叶 | —— | ф.м |
| эк | —— | 空勤组 | 叶面流 | 叶面流 | 量流 | —— | л |
| | | | 重舞 | —— | н | | |
| | | | 舞舞 | —— | н.л | | |
| | | | 高舞 | —— | в.н | | |
| | | | 舞舞舞 | —— | с.н | | |
| | | | 舞舞舞 | —— | рнз.до | | |
| | | | 舞舞舞 | —— | в.н | | |
| | | | 舞舞 | —— | по | | |
| | | | 舞舞 | —— | отр | | |
| | | | 舞舞 | —— | в.н | | |
| | | | 舞舞 | —— | н.к | | |
| | | | 舞舞 | —— | н.н | | |
| | | | 舞舞 | —— | нос | | |
| | | | 舞舞 | —— | прѣр | | |
| | | | 舞舞 | —— | прѣр | | |
| | | | 舞舞 | —— | т.т | | |
| | | | 舞舞 | —— | р | | |
| | | | 舞舞 | —— | р.з | | |
| | | | 舞舞 | —— | р.н | | |
| | | | 舞舞 | —— | р.н | | |
| | | | 舞舞 | —— | р.н | | |

前 言

本书是航空高等院校本科生飞机设计课教科书的第三版（第二版是在1972年出版的）。

在第二版出版以后的几年里，航空科学和技术产生了许多重要的变化。这些变化首先与设计对象本身——飞机有关，重量参数和几何参数的逐渐发展，飞行技术性能要求的不断提高，以及设备和装备的改善，使得飞机越来越复杂，以致研制周期长，费用增加，用传统的设计方法已经不再能够保证形成高效率的航空综合体了。

必须解决飞机设计工作越来越复杂，而设计研制周期又必须缩短，技术使用性能指标还必须提高的矛盾，这就促进了使用电子计算机的自动化设计方法的发展和更广泛的应用。

作者们清楚地知道，在当前科学技术革命的情况下，航空科技飞速发展，一些实用的资料很快就完全过时了。

显然，飞机设计方法将要进一步地发展和完善，但是其基本设计方法的原理仍然是不会改变的。因此，本教科书主要着重于讲述设计的基础、研制方法和设计方案的决策。同时，可能时，也引用一些解决问题的计算方法。书中十分注意讲述在设计各种远景飞机中的关键问题。

本教科书由三部分组成。

第一部分（第一～十二章）研究飞机总体设计的问题和各种不同用途飞机的设计特点。第二部分（第十三～十九章）讲飞机部件设计。在这一部分中把某些在总体设计过程中所得到的参数进一步进行精确的计算和优化。本书的第三部分（第二十和二十一章）解释采用自动化设计方法的特

点。

附录中给出了一些参考资料，可供航空高等院校本科生进行毕业设计时使用。

书中各章的配置基本上符合讲课的顺序，组成了飞机设计工作的各个环节。

第四、八（8.1.4和8.1.5节除外）、九和十三章由耶格尔（С.М.Егер）撰写；第三章和第六章——巴佳金（А.А.Бадягин）；第五（5.4节除外）和十四章——罗京（В.Е.Ротин）和耶格尔；序言和第一、二、十一、二十和二十一章——利塞采夫（Н.К.Лисейцев）；第十、十二、十六章和5.4节——米申（В.Ф.Мишин）；第七章——罗京；第十七、十八章和8.1.4、8.1.5节——斯克良斯克（Ф.И.Склянск）；第十五章——基谢廖夫（Б.А.Киселев）；第十九章——孔德拉绍夫（Н.А.Кондрашов）。在撰写第八、十一、十四章时采用了福明（Н.А.Фомин）的材料。

书的附录由巴佳金、米申和孔德拉绍夫编辑。

序 言

苏联飞机制造业的发展

我们离开最初的能实际应用的飞机飞行成功的时间，已经超过四分之三个世纪了。在那之前，许多国家的发明家，在几个世纪里一直企图用重于空气的飞行器来征服空气的海洋。到十九世纪末、二十世纪初，已经有许多著名学者对关于重于空气的飞行器的飞行理论进行了一系列的探讨，其中俄国科学院的罗蒙诺索夫（М.В.Ломоносов）、艾勒（Л.Эйлер）、门捷列夫（Д.И.Менделеев）占有显著的地位。这种理论的创造者是茹科夫斯基（Н.Е.Жуковский）和恰普雷金（С.А.Чаплыгин）等人。他们的著作奠定了制造飞机的实际基础。著名的俄国设计家莫扎伊斯基（А.Ф.Можайский）、格里佐杜博夫（С.В.Гризодубов）、斯捷格拉伊（И.И.Стеглау）等在发展实际的飞机制造方面，有着无法估价的重要贡献。在二十世纪初俄国所制造的飞机有，西科尔斯基（И.И.Сикорский）的“俄罗斯勇士”和“依利亚·穆洛梅茨”、斯列萨列夫（В.А.Слесарев）的“斯维亚托戈尔”和加喀里（Я.М.Гаккель）的飞机。这些飞机的性能在当时都是独一无二的。

苏联航空事业真正的繁荣是与列宁的伟大十月革命胜利分不开的，从此苏联的航空事业从小到大地成长了起来。列宁有远见地看到了，利用航空保卫年青的苏维埃共和国和发展经济的潜在可能性，一直关心建立航空科研和生产基地，以及组建空军。

虽然，由于第一次世界大战和国内战争使当时的条件异

常困难，但在1923~1924年仍然出现了具有独创结构的苏联飞机，其中有：波里卡尔波夫（Н.Н.Поликарпов）的伊-1——世界上第一架歼击机——张臂式单翼机，图波列夫（А.Н.Туполев）的安特-2——苏联第一架全金属的飞机。1925年，出现了安特-4（特伯-1）——全金属张臂式单翼机，发动机装在机翼上，它成了同类飞机的标准型式。

在第一个五年计划期间，按照列宁的工业化政策，继续改造老的和建立新的航空企业，加强科研机构。在这个时期里，苏联的航空设计家研制了许多有名的飞机，如乌-2、伊-3、伊-4、伊-5、爱尔-5、特伯-3、安特-9、安特-14、卡-5、“斯大林-2”、“斯大林-3”、施-2等等。这些飞机在二十年代末到三十年代前半期组成了国家空军的基础。当时这些飞机所创造的飞行纪录表明，苏联航空已稳步地进入了世界先进行列。波利卡尔波夫（Н.Н.Поликарпов）的爱尔-5飞机，于1930年在德黑兰举行的侦察机国际比赛中占了第一位。

波利卡尔波夫设计的乌-2（波-2）飞机的经历是不寻常的。1928年制成，首先用于训练飞行，后来广泛用于国民经济的运输、救护和农业等方面。由于在性能上有独到之处，这种飞机是世界上使用时间最长的飞机之一，苏联工厂制造了近4万架。

三十年代在第一个五年计划所取得成就的基础上，苏联制成了本国的各种功率的航空发动机，生产出了高强度的航空材料，利用航空科学发展的成果制成了伊-15、伊-16、安特-25（РД）、“马克西姆·高尔基”（安特-20）、“斯大林-7”、“祖国”（安特-37比斯）、德伯-3（伊尔-4）、乌特-2、别-8（安特-42）、伊-153“鸥”式等飞机。它们创造了飞行速度、高度和航程的许多世界纪录。

战前和在伟大的卫国战争的年代里，苏联制造了著名的别-2、伊尔-2、雅克-1、雅克-3、拉-5、拉-7、拉格-3、米格-3、图-2等飞机，使苏联空军取得了超过敌人的优势。苏联空军、苏联设计师学派，光荣地经受住了战争的严峻考验。

战后，苏联航空最快地实现了向喷气发动机的过渡，造出了几何可变机翼的飞机和短距起落及垂直起落的飞机。

苏联制造了世界上第一架喷气旅客机图-104及伊尔-18、安-10等飞机和巨型涡轮螺旋桨飞机图-114、安-22“安泰”。1968年12月从苏联机场上起飞了世界上第一架超音速旅客机图-144。目前我们已全部用第三代喷气飞机重新装备了苏联民航，图-154、雅克-42客机和第一种宽机身客机伊尔-86都符合对现代飞机的最高要求。

由于苏联共产党和政府不断关心航空事业的发展，苏联学者和航空设计师们的才干和全体人民的爱戴等方面的原因，苏联的航空事业在世界上处于领先地位。

苏维埃制度培养了整整一大批著名的学者和设计家，没有他们的努力很难使苏联航空科学技术取得这样完善的成就。由图波列夫、波利卡尔波夫、格里戈罗维奇（Д.П.Григорович）、雅科夫列夫（А.С.Яковлев）、伊留申（С.В.Ильюшин）、米高扬（А.И.Микоян）、苏霍伊（П.О.Сухой）、拉沃奇金（С.Л.Лавочкин）、安东诺夫（О.К.Антонов）、别里耶夫（Г.М.Бериев）、米亚西谢夫（В.М.Мясищев）所领导的飞机设计集团与由米库林（А.А.Микулин）、施维策夫（А.Д.Швецов）、克利莫夫（В.Я.Климов）、图曼斯基（С.К.Туманский）、柳利卡（А.М.Людька）、依夫钦可（А.Г.Ивченко）、库兹涅佐夫（Н.Д.Кузнецов）、索洛维约夫（П.А.Соловьев）所

领导的发动机设计集团及各种科研机构密切合作，所制造的飞机在全世界都是很著名的。

许多苏联学者，如克尔德什（М.В.Келдыш）、马卡列夫斯基（А.И.Макаревский）、赫里斯季安诺维奇（С.А.Христианович）、斯特鲁明斯基（В.В.Струминский）、奥斯托斯拉夫斯基（И.В.Остославский）、斯捷奇金（Б.С.Стечкин）、茹拉夫琴可（А.Н.Журавченко）、切列穆欣（А.И.Черемухин）等在发展空气动力学、流体气体动力学、飞行操纵理论、强度和气动弹性等航空基础学科和应用学科方面都作出了巨大的贡献。

苏联飞机设计学派的基础是靠科学辩证法。它的特点是：

始终力图使所研制的结构简单、可靠并具有良好的工艺性；

用革新的精神和创制性的方法来解决所产生的问题；
始终靠科研成果的支持，巧妙地将技术上的风险与清醒的计算合理地结合起来；

用最低的代价来解决复杂的工程技术问题。

取得这种成功，在很大程度上决定于周密地、系统地培养航空设计人才。《飞机设计》课在进行航空工程师的教育方面起着特别重要的作用。

到三十年代后半期，形成了一门科学的学科——飞机设计学科。当时出现的第一本飞机设计教科书是最早的关于选择合理的飞机参数的论述，其作者是苏联的学者和设计师克赖松（П.М.Крейсон）、萨姆索诺夫（П.Д.Самсонов）、法捷也夫（Н.Н.Фадеев）、苏图金（Л.И.Сутугин）和波利卡尔波夫（Н.Н.Поликарпов）。

设计基本理论的进一步的发展是与博尔霍维季诺夫

(В.Ф.Болховитиннов)、福明(Н.А.Фомин)、金梅里法尔伯(А.Л.Гиммельфарб)等学者的名字分不开的。这些学者的工作,奠定了可以依靠的,航空应用科学的成果及复杂系统设计的一般理论,在数值优化方法不断发展的情况下,建立起了真正的、科学的《飞机设计》课程的基础。