



(美) 牛春匀 (Michael C. Y. Niu)

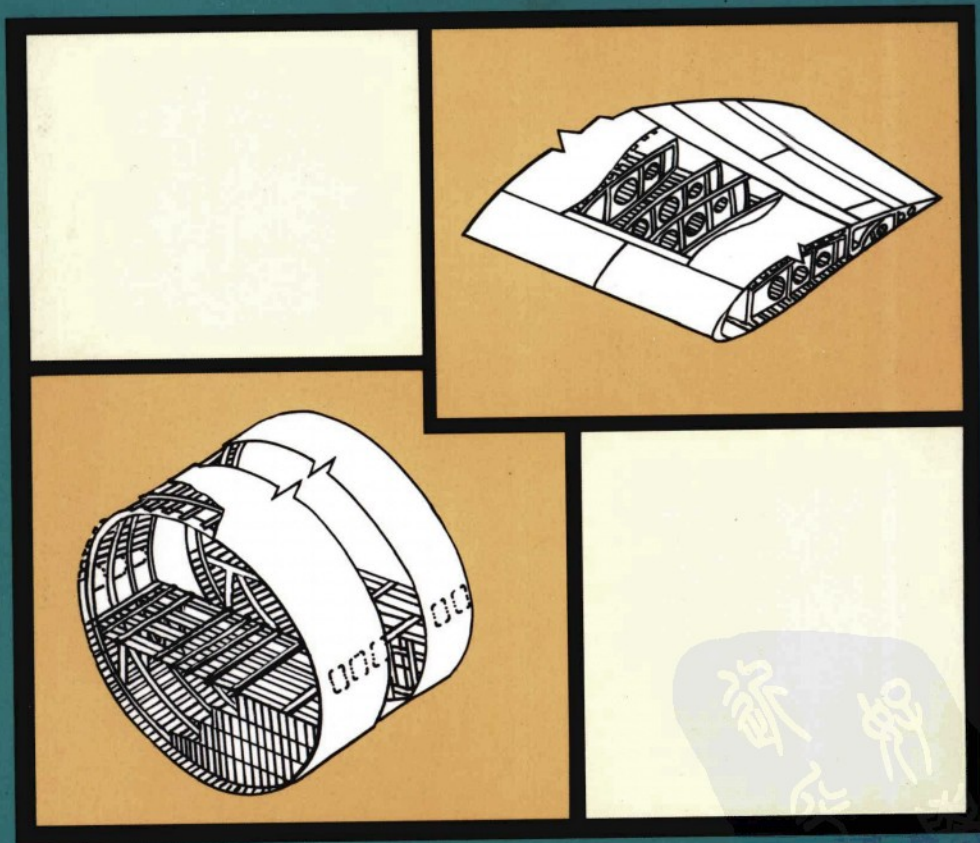
程小全

邵正能

著
译
审

AIRFRAME STRUCTURAL DESIGN

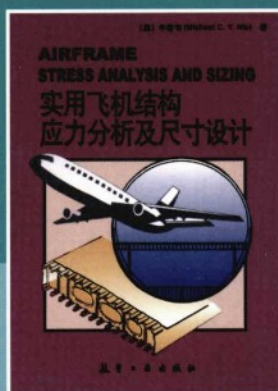
实用飞机结构 工程设计



航空工业出版社

责任编辑：邵 箭

封面设计：王 楠



建议上架：航空、航天类

ISBN 978-7-80243-206-2



9 787802 432062 >

定价：160.00元



实用飞机结构工程设计

(美) 牛春匀 (Michael C. Y. Niu) 著

程小全 译

郇正能 审

航空工业出版社

北京



内 容 提 要

本书对飞机结构设计的全过程进行了详细系统的介绍,阐述了飞机结构设计的思想及其发展过程、设计方法以及具体结构的设计细节等。全书共16章,包括绪论,考虑制造的设计,外载荷,材料,屈曲与稳定性,开口设计,紧固件与结构连接,机翼、尾翼和机身结构设计,起落架,发动机安装,先进复合材料结构设计,疲劳、损伤容限与破损-安全设计以及重量控制与平衡等内容,基本涵盖了飞机结构设计中的主要问题。本书的主要特点是结构设计的实例多、结构图和各种数据曲线多,而且这些结构实例和数据曲线都是近40年来,美国和欧洲具有代表性的各种型号设计的结果和经验,具有非常重要的工程参考价值,尤其在大型商用飞机方面更是意义重大。

本书主要供航空工程技术人员参考,也可作为航空高等院校教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

实用飞机结构工程设计/(美)牛春匀著;程小全译.
北京:航空工业出版社,2008.10
ISBN 978-7-80243-206-2

I. 实… II. ①牛… ②程… III. 飞机-结构设计
IV. V221

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第140855号

实用飞机结构工程设计
Shiyong Feiji Jiegou Gongcheng Sheji

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

发行部电话:010-64815615 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2008年10月第1版

2008年10月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:48.5

字数:1240千字

印数:1—2000

定价:160.00元

作者简介

牛春匀教授一直从事金属和复合材料飞机结构研究及咨询工作，曾是洛克希德航空系统公司的高级研发主管工程师，现任（美国）AD飞机结构咨询公司总经理。

牛教授在航天器结构和飞机结构的分析与设计方面有30多年的工作经验。在洛克希德，曾任部门主任和规划主任，负责结构布置与各种结构计划工作，其中包括金属和复合材料创新结构设计，这些结构可用在现在和（或）将来的先进战斗机和先进运输机上。在洛克希德工作期间，他深入参与初步设计各个方面的工作，其中包括飞机总体布局、结构布置、结构形式选择以及适航等内容。他是L-1011的主任工程师，负责机翼和尾翼的应力分析工作。他还于1966年和1968年，在波音公司先后做过波音727和波音747两架飞机的应力分析工程师。

牛教授的主要著作有三部：AIRFRAME STRUCTURAL DESIGN (1988)，COMPOSITE AIRFRAME STRUCTURES (1992) 以及 AIRFRAME STRESS ANALYSIS AND SIZING (1997)。此外，他还编写了洛克希德复合材料设计指南和复合材料制图手册。他先后于1973年和1986年获得洛克希德成就奖和成果卓越奖，并在1973年列入Who's Who航空专家名录。

牛教授是北京航空航天大学的顾问教授，以及南京航空航天大学、西北工业大学和沈阳航空工业学院的客座教授。

牛教授在洛杉矶加州大学讲授“飞机结构与修理”、“复合材料飞机结构”以及“飞机结构应力分析与尺寸布置”等工程短训课程。

牛教授1962年毕业于中国台湾中原大学土木工程专业，获学士学位；1966年在美国怀俄明大学获土木工程专业硕士学位。

中文版序

作者于1983年曾写了一本中文版《实用飞机构设计》(上册),后来下册也在1991年出版。经过几十年工作实践,作者认为行业中需要有一本更新的飞机结构设计书籍,于是整理了手中大量的资料,用英文重新写了这本 AIRFRAME STRUCTURAL DESIGN,于1988年由香港现代军事出版社有限公司(HONG KONG CONMILIT PRESS LIMITED)出版,出版后受到世界上飞机结构界之广泛欢迎,至目前已销售2万余册。书中包含大量大型商用飞机结构资料,对中国之大型商用飞机结构设计及制造方面,肯定会有很大的帮助。

因此,特在2006年3月授权给北京航空航天大学之程小全教授,把此书稿译成中文,并授权给中国航空工业出版社出版,希望能给中国读者带来方便。此书共有16章,除了加强在设计方面的实际经验资料外,并附有图表及设计曲线,可供设计者使用。

此书早已在世界各地的航空学院、飞机结构修护中心以及各大飞机公司之结构设计部门广泛使用。作者希望中国读者也同样喜爱这本实用书籍。谢谢!

程小全 谨上

于美国洛杉矶

2008年6月

PDG

译者前言

牛春匀教授的著作 AIRFRAME STRUCTURAL DESIGN 自从 1988 年问世以来,在香港现代军事出版社有限公司先后出版了两版四次印刷,并在日本出版了日文版,可见该书在国际上的影响是非常大的。本书根据牛教授最新修订的书稿翻译而成。

牛教授曾于 1983 年在国内出版过《实用飞机结构设计》(上册),8 年后出版了下册,这套书对国内航空工业的影响很大,国内大专院校航空专业的结构设计教材和一些飞机结构设计与分析方面的著作都参考引用了这套书的内容。AIRFRAME STRUCTURAL DESIGN 一书是在前者基础上写成的,但是在内容上两者的差异很大(80%左右的内容不同),本书比较早的中文版要完善,并且补充了很多数据和曲线,因此对飞机结构设计更具指导作用。在翻译过程中,《实用飞机结构设计》是译者的主要参考书。

牛教授三部主要的英文版著作分别是 AIRFRAME STRUCTURAL DESIGN (1988) (绿皮), COMPOSITE AIRFRAME STRUCTURES (1992) (蓝皮) 以及 AIRFRAME STRESS ANALYSIS AND SIZING (1997) (红皮)。译者在飞机结构与教学过程中,经常参考 AIRFRAME STRUCTURAL DESIGN 这本书,对本书的内容比较熟悉,后来遂产生了翻译这本书的想法,于是直接与牛教授联系。没想到牛教授对我们的想法非常支持,并表达了愿意为祖国航空事业的发展尽自己一份力量的心愿,因此,我们很快就订出了翻译计划,并在翻译过程中得到了他的直接指导和帮助。译者对牛教授的爱国热情表示由衷的敬意,对其给予的帮助表示感谢。

在本书的翻译过程中,正值我国航空工业大发展时期,特别是国内计划自行研制大型运输机和大型客机。相信本书的出版对我国的航空事业的发展

会起到积极的推动作用。

全书的翻译工作主要由程小全完成，其中第5、6、7章的部分内容由刘曦翻译。在翻译过程中，陈浩、俞彬彬、梁煜、王飞、邵世纲、丁聪、邹健、宋世涛、许延敏等人参加了部分初译和图文整理工作，对他们的辛勤付出表示感谢。

本书的出版得到了航空工业出版社的大力支持，陈凯、李苏楠和邵箭编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动，在此表示感谢。

由于译者水平有限，时间又比较仓促，翻译过程中难免存在不尽人意之处。对于翻译中的不足或疏漏，衷心希望读者批评指正。

译者

2008年8月于北京



作者感言

宇宙中充满了阴（负的）和阳（正的）的平衡。这可能有助于解释工业革命在给人类带来文明（正的）的同时，也对我们造成了污染（负的）——如果得不到有效的控制将是人类的灾难。在这个世界上存在着许多这种需要平衡的事例，而其结果则完全要看在时间还不是太迟之前我们如何处理它们。在事情发展的早期阶段把问题搞清楚，将会使其在后面更加容易处理，并且费用相应也会少很多。

20世纪70年代开始应用的电子计算机所带来的计算技术的革命，给工程技术人员带来了快速且精确的分析结果。计算机甚至能解决一些高超静定结构的问题，而在过去这是不可能做到的。不久的将来，计算机有可能会取代所有的人工计算。计算机（包括硬件和软件）的价值是无可争议的，然而，墨菲法则（Murphy's Law）常常到处发生作用，在结构设计领域里也不例外。一个工程师，他只知道如何给计算机输入信息，但有可能不清楚所得到的计算结果正确与否。（这是一个输入垃圾到输出垃圾的过程！）工程师不是机器，创新来源于工程师。非常遗憾，工业界出于对成本的考虑，而漠视工程师的实际经验。然而，计算机无法让工程师得到有价值的经验，它只是一个美妙的工具，并不能代替一切！

其次，谈谈有关工作经验。现在工程师花费大量的时间在计算机屏幕前，而忽视了不同学科同事（即小组工作）之间交流的重要性。工程师正在失去从“老手”那里获得必要经验的机会。最终的结果是工业界渐渐丢失了最有价值的经验，这些经验随着退休工程师的离世而消失。工业界应该要求工程师在他们退休之前，以报告的形式写下他们有价值的经验，这样就可以将其传给后来的人。虽然大公司拥有他们自己的手册、指南等供工作人员使用，但是，它们仅仅只是手册，而不能提供足够的经验。工业管理花费太多的努力在计算如何节约成本上，然而从长远来看，失去了宝贵的经验，最终则会导致很大的

损失。如果这种情形不能马上得到补救，那么飞机制造和其他工业将出现反冲效应。

与当代飞机工业相关的另一件事。自从“阿洛哈航线”（Aloha Airlines）一架老的波音 737 飞机失事后，这件事就一直在引起人们的争论，但是，至今没有人，包括飞机制造商和用户，想要给飞机定一个更适当的飞行寿命，如限制使用飞行小时数和服役年限等。从结构设计人员的观点来看，大家都认识到任何金属结构就像人体一样，都有其自己的疲劳寿命，没有一个寿命是永久的，即使维护工作做得非常认真小心。一架飞行器如果太老，再优良的维护也没有用。飞机与地面交通工具不同，如果飞机在空中有问题，它不可能停在那里等着援救，而肯定会掉下来。飞机制造商和政府认证机构的最高目标应该是为飞机确定一套合理的，并且合乎经济效益的寿命周期标准，以降低乘客的危险。这件事情现在就应该做，不要等着失去更多的生命后才觉醒！

中春句

2008 年 6 月



前 言

《实用飞机结构工程设计》是为了提高飞机结构设计人员和大专院校学生的技术基础和实际知识而编写的一本教材。书中包含了作者几十年来的数据收集和研究成果、与不同结构专家的交流总结，以及作者 20 多年在飞机结构设计方面的经验。此外，本书部分内容还来源于作者为洛克希德扩展教育计划（Lockheed Extension Education Program）所讲课程的内容（飞机结构设计结构专题研讨会）。因此，本书同样可以为工程领域内具有初级职称的人员在设计先进结构时提供参考。

从结构观点来看，这本书可以作为一种工具，用来帮助在设计商用或军用运输机、战斗机以及通用航空飞机等过程中，满足政府规章、条例、标准等所提出的结构整体性要求。对于航线结构维护人员和修理工程师来讲，本书也可以看成是一本发现并修理故障的指南；或者作为高等院校飞机结构设计课程的一本补充教材。飞机设计包括几乎所有的工程科学，要将所有的知识和数据包含在一本书里是不现实的。因此，在每一章的后面给出了有关的参考文献，以便读者可以根据个人的兴趣再作深入仔细的研究。书中不包括材料强度和结构（或应力）分析等内容，这里假定读者已经具备了这些背景知识。

本书共分为 16 章。为了便于读者直接找到自己感兴趣的内容，书中比较强调分条叙述、表格、曲线、插图以及实例；这些数据可以用来设计和确定飞机结构尺寸的大小，在需要澄清的地方，还给出了计算实例。随着科学技术的进步，基本的技术资料应该保持真实，然而，为了适用于当今的设计，如先进复合材料结构，则需要对以前的分析进行一些修改。

在本书的编写过程中，需要从很多渠道收集大量的资料和数据。（本书所使用的资料和数据没有明确地或含蓄地得到制造商或洛克希德航空系统公司所建立的官方签注文件。）作者非常感谢洛克希德航空系统公司（LASC）技术资料

中心的大力帮助。同样也感谢那些对本书编写付出过辛劳的人，其中包括我在 LASC 的同事以及其他许多公司的专家。特别感谢 Mr. Richard W. Baker (LASC 开发研究工程师)，他在审阅大部分草图时加上了极有价值的注释。我还要向 Mr. Anthony C. Jackson (LASC 的复合材料设计室主任) 表示谢意，他对第 14 章先进复合材料结构提出了宝贵的修改意见。最后，感谢我的女儿 Nina Niu 对本书所做的贡献。

最后，希望本书，连同它所涉及的对飞机结构设计技术非常实用的各方面内容与资料，将证明它不仅是一本对于飞机结构设计既可靠又满足整体性要求的极具价值的参考工具书，也是从飞机工业已经退休的那些专家的宝贵经验和知识传给下一代工程师的“桥梁”。对于修订本书的任何建议或意见，作者将不胜感激。

牛春匀 (Michael C. Y. Niu)

美国加利福尼亚

1988 年 3 月



目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 技术进展	(3)
1.3 设计与结构重量	(6)
1.4 计算机辅助设计	(7)
参考文献	(11)
第2章 考虑制造的设计	(14)
2.1 引言	(14)
2.2 设计工程师的责任	(15)
2.3 可生产性	(16)
2.4 维修性	(19)
2.5 工艺装备	(20)
2.6 其他注意事项	(24)
参考文献	(25)
第3章 飞机载荷	(27)
3.1 引言	(27)
3.2 气动弹性力学	(39)
3.3 机动飞行	(42)
3.4 基本数据	(46)
3.5 机翼的设计载荷	(66)
3.6 尾翼载荷	(72)
3.7 机身载荷	(81)
3.8 发动机载荷	(84)
3.9 起落架载荷	(87)
3.10 其他载荷	(92)
3.11 飞机载荷计算实例	(94)
3.12 附录：专用术语和常用符号	(108)
参考文献	(110)

第4章 材料	(114)
4.1 引言	(114)
4.2 材料选择准则	(121)
4.3 铝合金	(128)
4.4 钛	(131)
4.5 合金钢	(139)
4.6 复合材料	(142)
4.7 腐蚀防护与控制	(143)
参考文献	(148)
第5章 结构的屈曲和稳定性	(151)
5.1 引言	(151)
5.2 柱和梁柱	(154)
5.3 局部失稳强度	(170)
5.4 薄板的屈曲	(174)
5.5 薄蒙皮-桁条壁板——压缩	(178)
5.6 蒙皮-桁条壁板——一般情况	(185)
5.7 整体加强壁板	(195)
参考文献	(202)
第6章 开口	(205)
6.1 引言	(205)
6.2 小载荷梁	(208)
6.3 大载荷梁	(221)
6.4 蒙皮-桁条壁板上的开口(机翼和尾翼)	(226)
6.5 蒙皮-桁条曲面壁板上的开口(机身)	(239)
6.6 机身上的大型货舱门开口——剪切型舱门	(262)
参考文献	(264)
第7章 接头与结构的紧固件	(266)
7.1 引言	(266)
7.2 铆钉(永久性紧固件)	(270)
7.3 螺栓和螺钉(可拆卸紧固件)	(276)
7.4 紧固件的选择	(281)
7.5 耳片的设计与分析(剪切型)	(283)

7.6	焊接接头和胶结接头	(294)
7.7	疲劳设计需要考虑的问题 (机械连接接头)	(298)
7.8	垫片的控制与要求	(315)
	参考文献	(319)
第8章	机翼翼盒结构设计	(321)
8.1	引言	(321)
8.2	翼盒结构设计	(327)
8.3	机翼蒙皮	(333)
8.4	翼梁	(350)
8.5	翼肋和隔板设计	(357)
8.6	机翼的连接	(367)
8.7	变后掠机翼	(373)
8.8	机翼油箱设计	(384)
	参考文献	(391)
第9章	机翼前缘与后缘	(393)
9.1	引言	(393)
9.2	前缘	(417)
9.3	后缘	(427)
9.4	机翼的操纵面	(441)
9.5	固定前缘和后缘结构	(447)
9.6	设计中的考虑因素	(450)
	参考文献	(452)
第10章	尾翼结构	(454)
10.1	引言	(454)
10.2	水平安定面	(461)
10.3	垂直安定面	(468)
10.4	升降舵和方向舵	(472)
	参考文献	(476)
第11章	机身	(477)
11.1	引言	(477)
11.2	机身外形	(481)
11.3	机身细节设计	(483)

11.4	前机身	(504)
11.5	机翼和机身的连接	(514)
11.6	尾翼和后机身的连接	(520)
11.7	机身开口	(525)
	参考文献	(538)
第12章	起落架	(540)
12.1	引言	(540)
12.2	起落架的发展与布置	(555)
12.3	起落架的收放与收藏	(564)
12.4	缓冲器的选择	(570)
12.5	机轮和刹车	(579)
12.6	细节设计	(583)
12.7	起落架试验	(587)
	参考文献	(591)
第13章	发动机安装	(594)
13.1	引言	(594)
13.2	螺旋桨推进式发动机安装	(600)
13.3	喷气发动机进气口设计(战斗机)	(603)
13.4	翼下吊挂安装	(605)
13.5	发动机在后机身和尾部的安装	(613)
13.6	发动机在机身内的安装(战斗机)	(617)
	参考文献	(618)
第14章	先进复合材料结构	(620)
14.1	引言	(620)
14.2	复合材料	(629)
14.3	结构设计	(640)
14.4	结构连接设计	(654)
14.5	结构制造	(662)
	参考文献	(673)
第15章	疲劳、损伤容限和破损-安全设计	(677)
15.1	引言	(677)
15.2	疲劳性能和功能	(683)

15.3	设计准则与基本原则	(688)
15.4	结构寿命估计	(690)
15.5	破损 - 安全设计	(696)
15.6	细节设计	(705)
15.7	声疲劳设计与预防	(713)
15.8	验证试验	(718)
	参考文献	(729)
第 16 章	重量估计与控制	(732)
16.1	引言	(732)
16.2	重量估计	(738)
16.3	性能和飞机构型的影响	(746)
16.4	平衡与载重能力	(748)
	参考文献	(755)
附录:	英美制单位与标准国际单位的换算	(757)

