



ELSEVIER
爱思唯尔

Civil Jet Aircraft Design

民用喷气飞机设计

L.R. 詹金森(L.R. Jenkinson)

(英) P. 辛普金(P. Simpkin) 著

D. 罗兹(D. Rhodes)

李光里 吴兴世 华俊 王立新 译

唐长红 秋红 宋玉江

郑作棣 李光里 审



航空工业出版社

AIAA EDUCATION SERIES

AIAA 航空航天技术丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目

民用喷气飞机设计

L. R. 詹金森 (L. R. Jenkinson)
(英) P. 辛普金 (P. Simpkin) 著
D. 罗兹 (D. Rhodes)
李光里 吴兴世 华俊 王立新 译
唐长红 秋红 宋玉江
郑作棣 李光里 审

航空工业出版社

北京

内 容 提 要

本书根据现代新型运输机的发展需求,广泛收集了现代民用运输机和配套发动机的设计、使用资料,介绍了民用运输机从飞机概念设计到主要部件和全机的详细设计,较全面系统地论述了民用运输机的设计步骤和飞机布局过程,包括对飞机性能、品质、安全和环境等方面不同要求的处理,以及用于确定型号设计方案的参数方法、成本分析、优化等方面的具体过程和惯例,并结合实例介绍了数据表处理软件在飞机设计中的应用。书中还单独列出一章专门叙述了军用运输机设计要求及一般设计方法。

本书可作为高等院校本科生、研究生的教材,也可作为从事飞机设计、空气动力学专业的工程技术人员、飞机设计人员、经营管理人士的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

民用喷气飞机设计/(英)詹金森
(Jenkinson, L. R.), (英)辛普金(Simpkin, P.), (英)
罗兹(Rhodes, D.)著;李光里等译.--北京:航空工
业出版社,2014.4

(AIAA 航空航天技术丛书)

书名原文:Civil jet aircraft design

ISBN 978-7-5165-0407-9

I. ①民… II. ①詹… ②辛… ③罗… ④李… III.
①民用飞机—喷气式飞机—设计 IV. ①V271.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第056546号

北京市版权局著作权合同登记

图字:01-2012-4647

This edition of *Civil Jet Aircraft Design* by Lloyd R. Jenkinson, Paul Simpkin, Darren Rhodes is published by arrangement with ELSEVIER LIMITED of The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK.

民用喷气飞机设计 Minyong Penqi Feiji Sheji

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑2号院 100012)

发行部电话:010-84934379 010-84936343

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2014年4月第1版

2014年4月第1次印刷

开本:710×1000 1/16

印张:32.75

字数:678千字

印数:1—2000

定价:160.00元

《AIAA 航空航天技术丛书》审委会

顾问：(按姓氏笔画排列)

尹泽勇 石 屏 冯培德 刘大响 关 桥 杨凤田 李 天
李 明 宋文骢 张彦仲 陈一坚 陈祥宝 赵振业 唐长红
顾诵芬 曹春晓 颜鸣皋

主任：林左鸣

副主任：谭瑞松 顾惠忠 吴献东 张新国

委员：(按姓氏笔画排列)

王 坚 王之林 王向阳 王英杰 王润孝 卢广山 曲景文
华 俊 刘选民 刘春晖 杨圣军 李晓红 吴 松 汪亚卫
陈元先 陈灌军 庞 为 郭恩明 都本正 彭卫东 葛子干
蔡 毅 魏金钟

《AIAA 航空航天技术丛书》编委会

主任：张新国

副主任：王英杰 魏金钟

委员：(按姓氏笔画排列)

丁文强 丁全心 王永庆 王永明 王明皓 王聪梅 车 宏
牛文生 邓景辉 尹红顺 艾俊强 帅朝林 田 泽 白晓东
冯子明 巩水利 朱知寿 朱荣刚 刘永泉 江和甫 孙 聪
杨 伟 杨 旭 杨 超 杨朝旭 苏炳君 李文正 李东杰
李孝堂 李宏新 李周复 严成忠 吴希明 吴良斌 吴学仁
何胜强 沈锡钢 宋笔锋 张 弘 张 波 张明习 张继高
陆志东 陆虎敏 陈聪慧 范彦铭 欧阳绍修 罗安阳 周自全
赵 霞 侯敏杰 姚 华 袁 立 聂海涛 徐华胜 郭德伦
益小苏 陶春虎 桑建华 黄 佑 黄传跃 曹奇凯 章怡宁
梁相文 梁晓庚 董建鸿 强宝平 童明波 曾 军 曾元松
蒲小勃 褚林塘 臧 军 廖志忠 樊会涛

编委会办公室

主任：刘 鑫

副主任：史晋蕾 李苏楠

成员：(按姓氏笔画排列)

安玉彦 李金梅 郭 玮 郭倩旒

丛书序（一）

中国航空工业要融入世界航空产业链，进行国际化开拓，参与国际合作和竞争，与世界航空航天企业共谋发展，需要的是强大的技术支撑。构建先进的技术研发平台，加速推进前沿科学技术的研究，加速推进航空发动机技术和航空先进材料技术领域的基础及应用技术研究、新产品研发与技术创新，关键是要有一批具有高水平、高素质的航空航天专业人才。而人才的培养离不开知识的传承，这套《AIAA 航空航天技术丛书》就为我们提供了一个很好的资源。

习人之长，补己之短，正视不足，奋发崛起，社会发展规律普遍如此。从这套书中，我们不仅能读到长久以来人类在探索天空的过程中积跬步而形成的基础的、科学的、先进的专业知识和技术，以及崭新的思维方式和解决问题的技巧及方法，更重要的是能在学习这些成功经验的同时，多注意看看前车之鉴，避开陷阱。在这里我想要与大家共勉的是，即使是在百科全书中也不能找到所有问题的答案，科学发展永无止境，航空航天业的进步带动着社会高精尖技术的发展，其中还有很多领域及问题需要我们去探索 and 解决，因此，我们要抱着虚心的态度去学习，勇于探索的态度去思考，用好这些书，读好这些书。

科技的进步是整个社会的进步。愿我们的科技工作者、科研管理人员和广大的院校师生，既能够从中学习到知识、寻找到答案，更能够汲取精华，并能积极探索，与自身的知识、技术和经验相结合，在中国航空工业整翼飞升之时，迸发出更加绚丽的思想火花。



中国航空工业集团公司董事长

丛书序（二）

航空航天业是关系国家安全和国民经济命脉的战略性产业，是高投入、高附加值的技术密集型产业。由于其技术含量高、产业链长、带动性强，其发展对我国经济结构调整、实现产业优化升级、提高综合国力具有重要意义。金融危机之后，全球对于实体经济的认识回归到正确的轨道上来，重振制造业已成大家共识。而依靠高新技术和高产品附加值的高端制造业，被认为是推进工业转型升级的突破口。航空航天业作为高端制造业的重中之重，如何发挥其“火车头”作用引领制造业拥有强大竞争优势，成为当务之急。而解决这一问题的关键，就是突破核心技术，加强自主创新。

相比欧美等发达国家，我国并没有系统地经历科学革命和工业革命的洗礼。科学技术和工业基础落后，是导致我们高端制造业发展缓慢的原因之一。科学技术的进步非一朝一夕之力。通常来讲，一个产业发展所依托的先进技术至少需要10~20年的储备周期。以前的飞机材料都是单一金属的，现在随着材料技术、制造技术的进步，发展到铝合金、铝镁合金、钛合金以及碳纤维材料。这种科学技术的进步改进了飞机的性能和功能，包括后期出现的预警机、加油机、空天飞机等，其背后凭借的也是飞机的电子设备、任务系统、功能系统等的不断升级，依靠的是一系列科学技术的积累。

夯实技术基础并谋求创新，除了依靠自身积极探索、不断积累技术成果，还要吸纳国外先进的技术成果和经验，建立开放式的科学技术发展架构。

着眼于此，中航出版传媒有限责任公司（航空工业出版社）从美国航空航天学会（AIAA）的专业出版物中选择优秀图书引进翻译出版为中文版，推出了这套《AIAA 航空航天技术丛书》。熟悉 AIAA 的同行们都知道，AIAA 的出版物专注于航空航天领域，包括专业图书、期刊、会议论文和标准等，是为航空航天业提供信息服务的重要组成部分。AIAA 的图书工作委员会及其严格的审查制度保证了其图书具有较高的学术水平和技术含量。

这套中文版的《AIAA 航空航天技术丛书》涵盖飞行器的结构技术、材料技术、制造技术、气动技术、推进技术、试验技术、控制技术、航电系统和武器系统等方面，是对国内有关专业领域的有益补充。这次引进翻译出版工作所涉及的专业领域较多，工作繁杂，难度很大，需要协调的事情也很多，衷心希望最终能够达到预期目的，真正为促进国际化的交流与合作、为培养高素质的航空航天专业人才、为前沿科学技术的探索和创新起到应有的作用。



中国航空工业集团公司副总经理

给 AIAA 中文版丛书的序言

美国航空航天学会 (AIAA) 由成立于 1930 年的美国火箭协会和成立于 1932 年的美国航空科学学会于 1963 年合并而成。自此, AIAA 就作为最早的平台服务于美国及全球航空航天技术的创新者、卓越者和引领人。广为人们所熟悉的奥维尔·莱特, 尼尔·阿姆斯特朗, 弗兰克·惠特尔, 凯利·约翰逊, 西奥多·冯·卡门和沃纳·冯·布朗都是 AIAA 的会员, 而每 6 名 AIAA 的会员中就有超过 1 名会员来自美国以外的国家或地区。

这套中文版的《AIAA 航空航天技术丛书》是 AIAA 和中航出版传媒有限责任公司 (航空工业出版社) 良好合作的硕果。这种合作关系使得 AIAA 与中国航空学会之间以及 AIAA 与中国宇航学会之间的合作相得益彰。作为世界上最大的服务于航空航天业的技术学会, 由我们来推进 AIAA 图书中文版及双语版的出版和促成我们会员之间的交流是极为恰当之事。

我们的合作最早是由中航出版传媒有限责任公司所提出的, 最初主要关注在对 AIAA 技术图书的翻译上, 采用译注的形式使得英文技术词汇有限的学生能够掌握图书阐述的概念。正如你们所看到的这套丛书, 现在它已不仅限于最初的目的和形式。我们不会忘记我们的宗旨, 而当我们展望未来时, 我们感到非常高兴的是这套 AIAA 中文版图书包含了 AIAA 所出版的所有类别的图书: 教育系列 (大学教材)、航空航天进展系列 (科技) 以及飞行图书馆系列 (大众爱好)。

另外, 最近几年里, AIAA 的所有图书、期刊文章和技术会议论文都已进行电子版存档, 我们也希望我们的国际会员和合作伙伴能够很方便地访问这个强大的航空航天信息图书馆。

由最初在出版上的合作开始, AIAA 已增强了其与中国的合作关系, 包括代表团互访和交流等活动。这些互惠活动使美国和中国的航空航天团体之间的联系纽带更加牢固, 也使双方收获了重要的友谊。各种开拓性的互动将使我们的国家间拥有更好的相互理解与合作关系。AIAA 非常感谢中国航空工业集团公司的张新国副总经理、中航工业经济技术研究院王英杰院长、中航出版传媒有限责任公司的刘鑫总经理和李苏楠主任为此次合作所做出的努力。

AIAA 致力于服务广大会员和航空航天业。如今，AIAA 有许多来自中国的会员，随着更多的学生和专业人士通过这套丛书、AIAA 的其他出版物和直接的交流而对 AIAA 有更多的了解，我们希望来自中国的会员数量将会不断增多。而对于如何改善我们的服务，我们认为最好的想法是来自于我们的读者和会员。欢迎你们提出建议，并且我相信中航出版传媒有限责任公司会将你们提出的建议转达给 AIAA。

我们期待着未来长期且富有成效的合作。



罗伯特·迪克曼
美国航空航天学会主席

This book is dedicated to our nearest and dearest

Marie, Dot, Ken and Marjorie

仅以此书献给我最亲爱的

玛丽，多特，肯和马乔里

原 版 序

L. R. 詹金森、P. 辛普金和 D. 罗兹所著的《民用喷气飞机设计》为读者了解和学习现代民用喷气运输机的设计过程提供了一个较全面和系统的介绍。本书论述了从飞机初始阶段的概念设计到飞机主要部件的详细设计，包括成本分析及最佳化等问题。三位作者确保了在全书中妥善表达来自英国拉夫伯勒大学（Loughborough）的教育工作者、罗·罗公司在职工程师/设计师以及英国民用航空当局的官员的各种意见。虽然本书是专为民用运输机设计编著的，但其中也有一章是军用运输机方面的内容，该章以图示形式描述了把飞机初步设计技术要求作为使用要求的特殊依据。

本书主要目的之一是为学生介绍民用飞机设计的具体过程及惯例，包括飞机性能、品质、安全和环境等方面不同要求之间的矛盾的处理。本书第一部分（第 1 ~ 第 14 章）阐述了民用运输机主要部件的初步设计过程，包括用于确定基础设计方案的参数方法；第二部分（第 15 ~ 第 19 章）结合 4 个不同的设计研究描述了数据表处理软件在飞机设计中的应用。

美国航空航天学会出版的教育系列丛书和专题论文集涉及面广泛，有航空航天领域不同学科的理论和应用，包括航天工业设计实践等范围。该系列丛书还包括国防科学、工程学及管理方面的图书。它们可作为教材，也可作为现职工程师、科学家、经营管理人员的参考书籍。

本书由美国航空航天学会和英国伦敦阿诺德出版社联合出版。

J. S. 普尔米尼亚茨基
美国航空航天学会

原版前言

当今，精湛的设计是使发达国家在全球化经济发展中保持其竞争力的主要法宝之一。公司在产品或制造品上的“增值”能力受到全球的高度重视。在这种大环境下，人们认为飞机制造及经营业是一种理想的商业活动。许多过去未曾涉足航空科学技术领域的国家现在开始进入这个行业。然而，由于飞机制造技术更为复杂，涉及到各部件（机体、发动机及其他系统）之间相互依赖性问题的日益增强，又因需要庞大的开发启动成本，所以飞机的发展越来越趋向跨国性，对工业提出的挑战也愈加严峻。飞机设计队伍正是处于这一挑战的最前沿。

面临这一形势，可能出现的问题是对新型飞机设计要处理不同用途与各种要求之间的矛盾。飞机设计者关心的问题是怎样提高飞机性能和品质，满足生产的后限要求，促进全寿命期产品支持，满足客户及基础设施的要求等。在所有这些要求中，最重要的是希望设计者的设计能达到已确立的安全和环境要求，且能事先考虑到其设计可能受到的社会问题和政治上因素的影响。在可接受的成本和时限前提下，衡量所有这些因素恰是使飞机设计成为目前一项充满职业挑战及最终满足感的活动。

航空工程教学大纲教育目的之一，是传授学生飞机设计过程和实践知识，为解决上述设计中经常发生相互矛盾的要求的工具。本教材把民用运输机初始方案阶段的设计作为设计实践的范例。为了适应学生的知识、能力及有限的时间，不得不对工业界所用方法做了简化。不过，所做的简化是在专业性和详细设计水平上进行的，并不影响基础原理。例如，采用通用数据表处理软件的方法代替了通常工业上飞机分析使用的以程序为主的专用大型计算机程序。

除了对飞机型号设计做总体介绍之外，本书还包括了古典飞行力学课程的内容。本书填补了在空气动力学、推进、结构系统以及飞机型号设计专业讲座相互衔接之间的空白。本书有意将范围限于大学生学习的目的。为了举例说明基本原则，做了简化处理。在需要之处，给出了其他参考书籍，以便详细研究。阅读本书时，事先具备空气动力学、推进、结构及控制方面的一些基础知识是必要的，尽管书中尽可能地在所需之处给出了分析，读者可以直接使用而无须进一步研究。各参数名称术语和定义的解释，结合实际，恰如其分。在书后附有主要符号说明。

全书分为两部分，第一部分（第1~第14章）论述了对飞机型号设计有重大影响的各个因素。此部分首先广泛介绍了民用运输机，然后详述了飞机设计步骤

和飞机布局过程，其余章节给出了飞机设计方法的细节，且介绍了主要飞机部件。结论性章节阐述了用来精化飞机设计方案的参数方法和基准设计正式报告的说明。

第二部分（第15～第19章）介绍了数据表处理软件在飞机设计中的应用和4项独立的设计研究。4项研究均以图文并茂的形式说明了数据表处理软件方法的应用。每项研究均为一个独立的设计课题。第一项研究展示出了怎样将一个简单设计技术要求贯穿于整个设计过程；作为对比，第二项研究论述了非客机的设计，即运输机设计；两项研究皆为常规布局，所以第三项展示了如何估算非常规布局；最后一项设计研究表明如何使用此方法分析课题，而不是单纯的飞机技术研究。

优秀的设计仅靠书本给出答案是不可能的，只有通过不断积累知识，勤学苦练，广泛积累众多不同型号飞机设计实践经验，开阔视野，发挥创造性思路方可获得成功。但是，我们期望此书能扫除年轻工程师们在初涉设计工作时遇到的一些烦恼、困惑及费时等障碍。

本书尽量采用国际标准单位体系（SI），不过在航空学中仍有若干参数使用非国际标准单位（如高度通常用ft）。所以需要读者对不同单位体系有所了解。为便于不同单位体系之间进行转换，本书附有一个单位转换表^①可帮助胸怀大志的年轻设计者和老工程师们将他们过去的已熟练的单位转换成新的单位体系。

最后需要说明的是，本书不可能十全十美。其内容及数据不能包罗到每一位用户所需民用运输机的所有知识。例如，我们没有提供任何超声速飞机的说明，因为对能否解决与高度和快速使用相关的环境问题（噪声及辐射）目前仍没有把握。同样原因，对所涉及到的先进技术和材料也未做过深入讨论。它们的发展将不会影响飞机主要设计过程。这些问题留给读者在未来研究中通过建立标准公式的因子（如质量、减阻因子），再作考虑。

顾及上述删略，我们真诚致力编写了这本起点面向学生使用的书，以飧渴望更多了解商用涡扇飞机设计过程的学生。

① 原书有单位转换表，本书未翻译。——译者注

致 谢

在撰写这本书期间，我们收到了许多个人、机构和企业提供的信息、帮助以及鼓励等协助。

我们感谢拉夫堡大学航空和汽车工程系以及运输学科对本书的筹备和编写给予的充分支持。我们要表达对系主任斯坦·史蒂文斯、吉姆·麦吉尔克以及所有航空同仁的感谢。特别要感谢安·法兰斯和玛丽·贝特曼两位秘书全力完成了原始手稿的输入。

我们要感谢所有为这本书提供帮助和信息的企业以及罗·罗公司，特别是先进项目办公室的约翰·浩肯、布鲁斯·爱思特，以及飞行器项目团队的成员。

我们也感谢帕特里克·法马尔对于案例研究提供的援助和鲍伯·凯文对各种运营问题的帮助。

辅助数据

与本书相配套还有一套数据集，设在出版者的网站中（网址：www.arnold-publishers.com/aerodata）。数据集分 5 个独立的部分：

- 数据 A 收集 70 多架民用喷气飞机的技术资料；
- 数据 B 包含有 40 多台涡扇发动机的明细；
- 数据 C 汇总约 600 个机场的地理及现场数据；
- 数据 D 定义国际标准大气（ISA）和各种飞行速度；
- 数据 E 包括航空领域使用的不同参数、单位体系的定义和相互转换。

读者可以从这些数据中查找有助于飞机型号设计研究的信息。在《民用喷气飞机设计》全书，尤其是有关实例研究的篇章中，必要之处均注有参考这些数据的标记。

致 读 者

至今 110 年的载人航空已经改变了人类的生存方式、生活方式以及思维方式，并对人类的文明进步做出了卓越的贡献。面向未来，更高效更环保的绿色航空既反映了人类社会的美好追求，又对航空业的可持续发展提出了更加严峻的挑战。经过近 30 年的连续高速发展，中国的航空运输业已位居世界前列并还将保持近两位数的快速增长率，在未来 20 年将需要 5000 架以上的新飞机。中国航空工业在这一伟大的进程中将会有所作为，一方面在融入国际航空制造业的大格局中发挥更加重要的作用，另一方面也将陆续推出自主研制的民用运输飞机。为此，需要大批系统地了解、掌握现代运输飞机设计的理论和实践的航空工程师和有志从事航空事业的青年。在这方面，美国航空航天学会（AIAA）出版的包括航空航天主要学科的教育系列丛书，是一套宝贵的教材。根据中国航空学会副理事长、中国航空工业集团公司副总经理、中国航空研究院院长张新国率领的代表团与美国 AIAA 签订的有关协议，该系列丛书得以在中国翻译出版。

在此教育系列丛书中，英国拉夫伯勒大学高级讲师 L. R. 詹金森、罗·罗公司飞机性能部前任主任 P. 辛普金和英国国家空中交通服务有限公司研究员 D. 罗兹等三位作者，根据他们丰富的教学和实际工作经验，编著了《民用喷气飞机设计》一书。本书包含了民用喷气飞机的概念设计、成本和决策分析、各学科的研究重点，主要部件的细节设计，以及采用数据表格处理软件来协调设计中各专业间的矛盾。书中给出了飞机设计与性能估算的一些基本公式，可供读者直接使用。还介绍了近年来新发展的超临界机翼设计和学科间的优化等有关知识。十分有益的是，书中分别在第 16 章和第 17 章专门给出了一架新型支线喷气客机的初步设计过程和现代战争对军用运输机的设计要求。另外，附录中还列出了 70 多架现代喷气客机和 40 多台涡扇发动机的性能参数，以及 600 个机场的地理和位置数据等。这些材料原书中没有直接附上，需要读者自己从网上下载，而为了便于读者使用，译者在中文版中已全部附上。因为原书是 2000 年出版的，未包括一些新飞机的数据，译者现将空客 A380 及波音 787 的数据也一并附上。

中国航空研究院组织中国航空工业集团公司空气动力研究院、上海飞机研究

院、中国航空工业集团公司第一飞机设计研究院、北京航空航天大学和中国航空工业集团公司科学技术委员会等单位的有关专家共同完成了本书的翻译和审稿工作。本书初稿的录入工作由中国航空工业集团公司空气动力研究院完成。中国航空工业集团公司空气动力研究院秋红、中国航空研究院邓英和中航出版传媒有限责任公司（航空工业出版社）的有关同志参与了本书出版的有关组织事宜。

本书内容丰富、实用，可供航空院校本科生和研究生学习参考，也可供飞机研制和使用部门的工程技术人员阅读。

顾诵芬

中国科学院、中国工程院院士
中国航空研究院名誉院长、学术委员会主任
2013 年 12 月