

Design and Development of Aircraft Systems

飞机系统设计和研制导论

(英) 伊恩·莫伊尔(Ian Moir) 著
阿伦·西布里奇(Allan Seabridge)

凌和生 等译
蔡运宏 杨帆 陈伟 校
焦裕松 译审

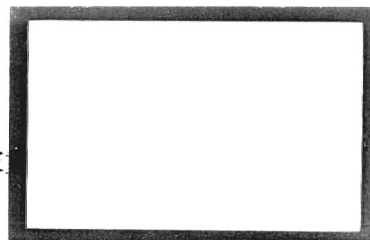


航空工业出版社

AIAA EDUCATION SERIES

AIAA 航空航天技术丛书

“十二五”国家



飞机系统设计和研制导论

(英) 伊恩·莫伊尔 (Ian Moir) 著
阿伦·西布里奇 (Allan Seabridge)
凌和生 等译
蔡运宏 杨帆 陈伟 校
焦裕松 译审

航空工业出版社

北京

内 容 提 要

本书是其系列篇《飞机系统》、《民用航空电子系统》和《军用航空电子系统》的补充。它提供了有关飞机系统设计和研制的清晰的入门知识,其内容包括如何应用系统工程的方法。它突出了研制和设计的程序,使读者了解如何从用户的需求来建立复杂系统的框架,从而形成各种综合的并完全适用的飞机系统的实际研发方法。过去的设计往往仅局限于单个学科领域,而现代飞机系统的设计将越来越多地需要考虑综合的问题。本书着重阐述产品的寿命周期、研制程序及其影响因素与所需的技能,以及系统的综合。

本书对于从事飞机及其系统和重要部件设计的人员、院校相关专业高年级学生与研究生都是极有价值的参考书或参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

飞机系统设计和研制导论/(英)莫伊尔(Moir, I.)
, (英)西布里奇(Seabridge, A.)著;凌和生等译. --
北京:航空工业出版社,2012.7

(AIAA 航空航天技术丛书)

书名原文:Design and Development of Aircraft
Systems

ISBN 978-7-5165-0042-2

I. ①飞… II. ①莫… ②西… ③凌… III. ①飞机—
系统设计 IV. ①V22

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第152683号

北京市版权局著作权合同登记

图字:01-2011-0663

Copyright © 2004 Ian Moir and Allan seabridge

All rights reserved. Authorized translation from the English language edition, entitled Design and Development of Aircraft Systems, ISBN 1-86058-437-3, by Ian Moir, Allan Seabridge, published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

飞机系统设计和研制导论
Feiji Xitong Sheji he Yanzhi Daolun

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

2012年7月第1版

2012年7月第1次印刷

开本:710×1000 1/16

印张:12.75

字数:260千字

印数:1—3000

定价:78.00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 郭倩旎

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

《航空航天丛书》(Aerospace Series)

原版丛书顾问序

航空航天领域的范围广阔，覆盖了各种学科和领域，它不仅包含了工程方面的，而且也包括许多有关保障方面的行业。它们组合在一起使航空航天工业能够创造出令人振奋和具有技术挑战性的产品。

本系列《航空航天丛书》的目标是成为针对航空航天工业中工程专业人员、操作人员和用户的实用和专题的丛书。专题范围很广，覆盖了飞机的设计、研制、制造、使用和保障，以及基础结构的运作和研究与技术方面的发展。本系列丛书将会给工作于航空航天领域的所有人员提供感兴趣和有益的相关信息资源。

作者较早所著的书篇《飞机系统》、《民用航空电子系统》、《飞机显示系统》和《飞机载荷和结构布局》论述了相关的主题。这些书籍阐述作为飞机产品组成部分的各种系统。在每一本书中也简短论述了有关设计和研制程序的一些方面。在《飞机系统设计和研制导论》中对程序予以了突出，从而读者可以熟悉如何从用户的需求出发发展形成一架复杂飞机的系统的方法，和如何作为单独的系统、作为综合系统和作为完整的飞机产品加以实现。本书适用于这样一些人员，他们需要了解工业界如何根据用户的需求研发出一种可以安全飞行并适合于使用的、完全综合的且经过试验和合格的产品。

伊恩·莫伊尔 阿伦·西布里奇

关于作者

伊恩·莫伊尔 理学士，工程硕士，皇家航空科学院院士，电气工程师协会会员。在皇家空军中作为工程士官/军官服役 20 年后退休，时至少校官阶。随后他继续在英国切尔滕纳姆（Cheltenham）的史密斯工业公司工作了 18 年。他在那里负责军用和民用飞机上的航空电子技术在飞机通用系统方面的应用工作。他在英国战斗机技术验证机（EAP）项目中担任通用系统综合管理系统的项目经理和欧洲战斗机的技术指导。伊恩在史密斯工业公司的主要成就包括：为麦克唐纳·道格拉斯/波音公司的 AH-64C/D “长弓” 阿帕奇攻击直升机和波音 777 飞机选择和研制新型综合系统（荣获 1998 年女王技术奖），这两者都是重大的产品项目。

伊恩在航空航天工业领域具有 40 多年的实际工作经验。他目前是国际航空航天顾问，从事飞机电气、通用系统和航空电子技术领域的工作。

阿伦·西布里奇 文学士，哲学硕士。自 1998 年至今，他一直是 BAE 系统公司的飞行系统总工程师。此前，他担任“猎迷”MRA4 项目中的航空电子系统综合产品组负责人有 5 年时间。他已在航空航天工业领域从事飞行系统和航空电子系统工程、商业开发和项目管理工作 30 多年。他一直致力于各种军用高速喷气机、教练机以及地面与海上侦察机的航空电子系统等项目的工作。

阿伦已在欧洲和美国的许多国际合作项目中参与工作，并曾领导过多个国家和国际的工程团队。所有这些引发了他对系统工程技术应用能力的所有方面产生浓厚的兴趣，包括工程实践、应用的程序与工具，以及所需的人员和技能。

作 者 序

我们之前在《飞机系统》和《民用航空电子系统》两本书中，着重于提供各种飞机系统的技术说明，并附带实际应用的例子。目前我们正在准备一本有关军用航空电子系统的类似书稿，它将采用相同的风格撰写。在这些书籍中，我们对这种系统的设计和研制过程只是一笔带过。

我们认识到这是我们造成的疏忽，因为完成一架飞机从接受最初的用户需求，经过产品的设计和研制，一直到在使用中成功地飞行将投入大量的工作。我们已经试图在本书中改正这部分的疏忽，并在文中集中说明产品的寿命周期、设计和研制程序，以及研制飞机这样的复杂产品所必需的技能。我们希望本书对于从事研制类似复杂产品的人员也同样有用。

对于《飞机系统设计和研制导论》一书的内容，我们试图编写成通用性的，而不是阐述任何一种单一的研制程序。大多数机构都已在一段时间内发展了它们自己特定的研制程序，这种程序将被它们、它们的产品以及它们的用户所应用。产品的寿命周期差异很大，这将影响到程序的实施。目前飞机总的寿命周期已延长到 30 年以上，寿命周期的研制部分本身可超过 10 年。这对于在这段时间中坚持统一的特定程序本身也提出了挑战。

我们希望本书将对我们的其他书篇做出补充，并告诉读者——航空航天工业界的工程师生产出富有创新性和挑战性，同时也具有安全性和可靠性的系统和飞机时是如何工作的。

伊恩·莫伊尔 阿伦·西布里奇

致 谢

本书是两位作者在军用和民用飞机的系统工程领域多年工作的成果。通过与多所大学的本科生和研究生一起工作，参加研发和扩充学位课程，从而丰富了他们的工作经验。而与大学教师和学生的讨论大大拓展了作者的知识。在这里，作者特别想要提到曼彻斯特大学、拉夫堡（Loughborough）大学、克兰菲尔德（Cranfield）大学以及西英格兰大学。

作者希望感谢他们的朋友和同事在编写本书的漫长过程中所给予的真诚帮助。许多公司无偿地提供了他们的资料、建议和图例。作者尤其要感谢 BAE 系统公司、洛克希德·马丁公司、流动大师国际有限公司、曼彻斯特大学、梅林产品有限公司和派克宇航公司。

给他们提供建议和帮助的同仁有 BAE 系统公司的安德鲁·布雷德利（Andrew Bradley）、彼得·威尔金森（Peter Wilkinson）、凯瑟琳·威克士（Katharine Wykes）、约翰·福勒（John Fowler）、多米尼克·迪斯顿（Dominic Diston）和 BAE 系统公司沃顿图书馆的克莱尔·艾迪（Claire Addy）、维基·李（Vicky Lee）和鲁思·利敏（Ruth Leeming）。

作为一名本科生，理查德·霍顿（Richard Horton）提出了本书对于系统工程学生适用性方面极有价值的建议和意见。

我们要感谢审定人，对他们的辛勤劳动和建设性的意见与批评表示感谢，他们是安德鲁·布雷德利（BAE 系统公司系统工程总监）、马尔柯姆·杰克斯（Malcolm Jukes）、克丽丝·罗金（Chris Rogan）（BAE 系统公司教育总监）以及派克宇航公司的罗伊·雷顿（Roy Langton）。

术 语 汇 编

AC	交流电
AC	咨询通告（原文 Airworthiness Circular，为了与常用名称统一而做了修改——译者注）——提供有关飞机特定工作的建议性文件
ADC	大气数据计算机
ADF	自动无线电测向（定向）仪
ADIRS	大气数据和惯性参考系统
ADM	大气数据模块
ADR	事故数据记录装置
AFDS	自动驾驶仪飞行指引系统
AFDX	航空电子快速开关以太网（又称航空全双工交换式以太网——译者注）
AHARS	姿态和航向参考系统
AIMS	飞机信息管理系统（波音公司）
APU	辅助动力装置
ARINC	航空无线电公司（美国）
ARINC 400 系列	提供航空电子设备设计基础的 ARINC 规范
ARINC 404A	有关航空电子设备封装的早期 ARINC 标准
ARINC 429	广泛应用的民用航空数据总线标准
ARINC 500 系列	有关模拟式航空电子设备设计的 ARINC 规范
ARINC 578	有关甚高频全向无线电信标（VOR）设计的 ARINC 标准
ARINC 579	有关仪表着陆系统（ILS）设计的 ARINC 标准
ARINC 600 系列	有关航空电子设备实现技术的 ARINC 规范
ARINC 600	有关航空电子设备封装的较新 ARINC 标准
ARINC 629	有关 2Mb/s 数字式数据总线的 ARINC 标准
ARINC 700 系列	有关数字式航空电子设备设计的 ARINC 规范
ARINC 708	有关气象雷达设计的 ARINC 标准
ARINC 755	有关多模式接收器（MMR）设计的 ARINC 标准
ARP	航空航天推荐标准（SAE）

ATA	航空运输协会
ATC	空中交通管制
ATI	航空运输仪表——规定飞机仪表规格的方法
ATMS	飞机信息管理系统
Backward compatibility	后向兼容性。系统与早期的研制/构型兼容的能力
BC	总线控制器（MIL - STD - 1553B 数据总线）
BIT	机内检测
BMS	商业管理系统
CAD	计算机辅助设计
CAIV	独立变量成本
CDR	关键设计评审
CFD	计算流体动力学
CG, cg	重心
Cold soak	长时间暴露于低温环境下
COMINT	通信情报
COTS	商用货架产品
CPM	通用处理器模块
CPU	中央处理器
CSG	计算机符号发生器
CVR	座舱录音装置
DC	直流电
Def Stan	国防部标准
DME	测距器
DMC	显示管理计算机
DoD	美国国防部
DVI	直接声音输入
EASA	欧洲航空安全局
ECAM	电子检测与维护（空客）
ECS	环境控制系统
EDP	发动机驱动泵
EDR	工程设计要求
EEC	发动机电子控制器
EFIS	电子飞行仪表系统
EICAS	发动机指示和乘员报警系统（或称发动机指示和机组告警

	系统)
ELMS	电负载管理系统
EMC	电磁兼容性
EMH	电磁卫生
EMI	电磁干扰
EOS	电子-光学(瞄准)系统
ESM	电子支援措施
ETOPS	双发延程飞行
EUROCAE	欧洲民用航空设备机构
FAA	(美国)联邦航空管理局
FADEC	全权限数字式发动机控制(器)
FAV	(新品)首件验证
FBW	电传飞行控制
FCS	飞行控制系统
FCU	飞行控制装置
Flowmaster	“流动大师”,用于流体系统模拟的仿真软件包
FMQGC	燃油管理和油量测量计算机
FMS	飞行管理系统
Forward compatibility	前向兼容性。系统与将来研制/构型相容的能力
FRR	最后准备评审
GHz	10^9 赫(千兆赫)
GPS	全球定位系统
GPWS	近地告警系统——也见 TAWS
GUI	图像用户界面
HALT	硬件加速寿命试验
HF	高频
HIRF	高强度射频
HOTAS	单手操控与油门控制(又称手不离油门和驾驶杆)
Hot soak	长时间暴露于高温环境下
HUD	平视显示器
IAS	指示空速
IC	集成电路
ICD	接口控制文件
IFF/SSR	敌我识别系统/二次监视雷达

ILS	仪表着陆系统——用于在最后进近至着陆时引导飞机的进近设备
IMINT	图像情报
INCOSE	国际系统工程协会
INS	惯性导航系统
I/O	输入/输出
IPT	综合产品组（团队）
IR	红外线
IRS	惯性参考系统
ISIS	综合备用仪表系统
IT	信息技术
JAA	欧洲联合航空局——见 EASA
kbit	10^3 位（千位）
LCD	液晶显示
LCN	（跑道的）负荷等级号（机场跑道载荷承受能力）
LfE	从经验中学习
LoX	液态氧
LP	低压
LRU	外场可更换单元
Mach	马赫数。与声速有关的飞机速度
MAD	磁异常检测器
MatLab	Mathworks 公司的仿真工具
MAU	模块化航空电子装置
Mbit	10^6 位（兆位）
MCDU	多功能控制和显示装置
MHz	10^6 赫（兆赫）
MIL - HBK	军用手册——美国的一种军用出版物
MIL - STD - 1553B	广泛应用的军用数据总线标准
MLS	微波着陆系统——一种用于在最后进近至着陆时引导飞机的先进进近设备
MMR	多模式接收器——一种包含全球定位系统、仪表着陆系统和微波着陆系统接收器的接收器
MoD	英国国防部
Mode S	一种用于在邻近飞机和空中交通管制系统之间交换飞行数