



大飞机出版工程

总主编 顾诵芬

民用飞机设计和运营经济性 及成本指数

Design and Operational Economics for
Civil Aircraft and Cost Index

陈迎春 主 编

李晓勇 宋文滨 副主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



大飞机出版工程

航空经济学系列

总主编 顾诵芬

民用飞机设计和运营经济性 及成本指数

Design and Operational Economics for
Civil Aircraft and Cost Index

陈迎春 主 编

宋文滨 李晓勇 副主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书汇集了航空公司运营经济性分析与飞机设计的优秀学术论文,内容主要涵盖航空公司运营经济性及其对飞机设计的影响问题。经济性贯穿商用飞机全寿命周期的所有环节,是反映商用飞机竞争力的重要指标之一。航空公司运营经济性对市场分析、机队规划、飞机设计等都具有重要的影响,开展有关经济性的研究和应用工作对于发展航空经济学这一新的交叉学科具有重要的意义。本书可供从事相关工作的技术和管理人员使用,也可供决策人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

民用飞机设计和运营经济性及成本指数 / 陈迎春主编. —上海:

上海交通大学出版社, 2013

(大飞机出版工程·航空经济学系列)

ISBN 978-7-313-10086-3

I. ①民… II. ①陈… III. ①民用飞机—设计 IV. ①V271

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 163496 号

民用飞机设计和运营经济性及成本指数

主 编: 陈迎春

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

出 版 人: 韩建民

印 制: 浙江云广印业有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

字 数: 248 千字

版 次: 2013 年 11 月第 1 版

书 号: ISBN 978-7-313-10086-3/V

定 价: 56.00 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021-64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 12.5

印 次: 2013 年 11 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 0573-86577317

大飞机出版工程

丛书编委会

总主编:

顾诵芬(中国航空工业集团公司科技委副主任、两院院士)

副总主编:

金壮龙(中国商用飞机有限责任公司董事长)

马德秀(上海交通大学党委书记、教授)

编 委:(按姓氏笔画排序)

王礼恒(中国航天科技集团公司科技委主任、院士)

王宗光(上海交通大学原党委书记、教授)

刘 洪(上海交通大学航空航天学院教授)

许金泉(上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院工程力学系主任、教授)

杨育中(中国航空工业集团公司原副总经理、研究员)

吴光辉(中国商用飞机有限责任公司副总经理、总设计师、研究员)

汪 海(上海交通大学航空航天学院副院长、研究员)

沈元康(国家民航总局原副局长、研究员)

陈 刚(上海交通大学副校长、教授)

陈迎春(中国商用飞机有限责任公司常务副总设计师、研究员)

林忠钦(上海交通大学常务副校长、院士)

金兴明(上海市经济与信息化委副主任、研究员)

金德琨(中国航空工业集团公司科技委委员、研究员)

崔德刚(中国航空工业集团公司科技委委员、研究员)

敬忠良(上海交通大学航空航天学院常务副院长、教授)

傅 山(上海交通大学航空航天学院研究员)

总 序

国务院在 2007 年 2 月底批准了大型飞机研制重大科技专项正式立项,得到全国上下各方面的关注。“大型飞机”工程项目作为创新型国家的标志工程重新燃起我们国家和人民共同承载着“航空报国梦”的巨大热情。对于所有从事航空事业的工作者,这是历史赋予的使命和挑战。

1903 年 12 月 17 日,美国莱特兄弟制作的世界第一架有动力、可操纵、重于空气的载人飞行器试飞成功,标志着人类飞行的梦想变成了现实。飞机作为 20 世纪最重大的科技成果之一,是人类科技创新能力与工业化生产形式相结合的产物,也是现代科学技术的集大成者。军事和民生对飞机的需求促进了飞机迅速而不间断的发展,应用和体现了当代科学技术的最新成果;而航空领域的持续探索 and 不断创新,为诸多学科的发展和相关技术的突破提供了强劲动力。航空工业已经成为知识密集、技术密集、高附加值、低消耗的产业。

从大型飞机工程项目开始论证到确定为《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的十六个重大专项之一,直至立项通过,不仅使全国上下重视起我国自主航空事业,而且使我们的人民、政府理解了我国航空事业半个世纪发展的艰辛和成绩。大型飞机重大专项正式立项和启动使我们的民用航空进入新纪元。经过 50 多年的风雨历程,当今中国的航空工业已经步入了科学、理性的发展轨道。大型客机项目其产业链长、辐射面宽、对国家综合实力带动性强,在国民经济发展和科学技术进步中发挥着重要作用,我国的航空工业迎来了新的发展机遇。

大型飞机的研制承载着中国几代航空人的梦想,在 2016 年造出与波音 B737 和

空客 A320 改进型一样先进的“国产大飞机”已经成为每个航空人心中奋斗的目标。然而,大型飞机覆盖了机械、电子、材料、冶金、仪器仪表、化工等几乎所有工业门类,集成了数学、空气动力学、材料学、人机工程学、自动控制学等多种学科,是一个复杂的科技创新系统。为了迎接新形势下理论、技术和工程等方面的严峻挑战,迫切需要引入、借鉴国外的优秀出版物和数据资料,总结、巩固我们的经验和成果,编著一套以“大飞机”为主题的丛书,借以推动服务“大型飞机”作为推动服务整个航空科学的切入点,同时对于促进我国航空事业的发展和加快航空紧缺人才的培养,具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

2008 年 5 月,中国商用飞机有限公司成立之初,上海交通大学出版社就开始酝酿“大飞机出版工程”,这是一项非常适合“大飞机”研制工作时宜的事业。新中国第一位飞机设计宗师——徐舜寿同志在领导我们研制中国第一架喷气式歼击教练机——歼教 1 时,亲自撰写了《飞机性能捷算法》,及时编译了第一部《英汉航空工程名词字典》,翻译出版了《飞机构造学》、《飞机强度学》,从理论上保证了我们飞机研制工作。我本人作为航空事业发展 50 年的见证人,欣然接受了上海交通大学出版社的邀请担任该丛书的主编,希望为我国的“大型飞机”研制发展出一份力。出版社同时也邀请了王礼恒院士、金德琨研究员、吴光辉总设计师、陈迎春副总设计师等航空领域专家撰写专著、精选书目,承担翻译、审校等工作,以确保这套“大飞机”丛书具有高品质和重大的社会价值,为我国的大飞机研制以及学科发展提供参考和智力支持。

编著这套丛书,一是总结整理 50 多年来航空科学技术的重要成果及宝贵经验;二是优化航空专业技术教材体系,为飞机设计技术人员培养提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的迫切需求;三是为大飞机研制提供有力的技术保障;四是将许多专家、教授、学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来,旨在从系统性、完整性和实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的“大飞机”理论与实践相结合的知识体系。

“大飞机”丛书主要涵盖了总体气动、航空发动机、结构强度、航电、制造等专业方向,知识领域覆盖我国国产大飞机的关键技术。图书类别分为译著、专著、教材、

工具书等几个模块;其内容既包括领域内专家们最先进的理论方法和技术成果,也包括来自飞机设计第一线的理论和实践成果。如:2009年出版的荷兰原福克飞机公司总师撰写的 *Aerodynamic Design of Transport Aircraft* (《运输类飞机的空气动力设计》),由美国堪萨斯大学2008年出版的 *Aircraft Propulsion* (《飞机推进》)等国外最新科技的结晶;国内《民用飞机总体设计》等总体阐述之作和《涡量动力学》、《民用飞机气动设计》等专业细分的著作;也有《民机设计1000问》、《英汉航空双向词典》等工具类图书。

该套图书得到国家出版基金资助,体现了国家对“大型飞机项目”以及“大飞机出版工程”这套丛书的高度重视。这套丛书承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命,凝结了国内外航空领域专业人士的智慧和成果,具有较强的系统性、完整性、实用性和技术前瞻性,既可作为实际工作指导用书,亦可作为相关专业人员的学习参考用书。期望这套丛书能够有益于航空领域里人才的培养,有益于航空工业的发展,有益于大飞机的成功研制。同时,希望能为大飞机工程吸引更多的读者来关心航空、支持航空和热爱航空,并投身于中国航空事业做出一点贡献。

顾诵芬

2009年12月15日

本书编委会

学术指导委员会

(按姓氏笔画排序)

王子方 叶叶沛 陈迎春
刘 洪 葛忠汉 黎先平

主 编

陈迎春

副主编

李晓勇 宋文滨

编委会

(按姓氏笔画排序)

杨 洋 宋文滨 李晓勇
余雄庆 陈晓和 俞金海

前 言

飞机制造和民用航空是国民经济的重要产业,具有高技术、高附加值和知识密集性等特点,也是体现国家全球竞争力的行业。我国大型客机已经作为国家重大科技专项之一正式实施,在激烈的国际竞争条件下,我国发展民用飞机产业在关键技术、管理方式、适航取证、市场服务和人才培养等方面面临着长期的挑战。

民用飞机(民机)发展的历史就是通过持续性的关键技术与设计创新,不断提高其安全性、经济性、舒适性和环保性的过程。发展民机需要确保安全性达到适航标准,舒适性不断提高,对环境的影响逐渐减少。发展规律表明,每一代新机型的推出,需要在使用经济性上有 10%~15%左右的改善,才可能获得航空公司认可。但是,飞机制造商在新技术研发上的投入,势必会推高飞机成本,在飞机价格主要由市场决定的情况下,进而降低其自身的盈利能力,影响其对后续机型的投入和持续稳健的发展。过分追求新技术甚至会导致飞机制造商在商业上面临破产的境地。对民用飞机经济性的研究涉及飞机设计、制造、使用、维护,以及处置等全生命周期的各个环节,包含市场预测与分析、飞机定价、设计方案、供应商成本管理、航空公司竞争性分析以及新技术的经济性评估等广泛的内容,覆盖经济学、飞机设计、管理科学等多学科的综合交叉,形成航空经济学的主体。

航空经济学研究的内容应涵盖飞机设计和制造的经济性分析,民用航空经济性评估方法、标准和体系;飞机全寿命成本、直接使用成本、直接维修成本;影响飞机经济性设计的因素分析;面向价值工程的设计方法与体系;新一代布局飞机经济性分析;环保与经济性的关系;市场销售策略;经济环境和运营环境的影响,国家宏观政策和发展战略以及国际环境的影响等。

2012 年 12 月中国商飞市场研究中心联合上海交通大学在上海召开了第三

届“民用飞机经济性设计学术会议”，本次会议的主要议题包括：

- (1) 民用飞机经济性分析及设计研究；
- (2) 民用飞机运营经济性分析；
- (3) 民用飞机经济性评估方法、标准与体系；
- (4) 影响飞机经济性设计的因素分析；
- (5) 国家产业政策和经济环境对民用飞机产业的影响；
- (6) 环保性对民机经济性设计的影响；
- (7) 新技术对民用飞机设计的影响。

会议代表来自西飞国际、中国商飞、东航货运、南京航空航天大学，以及上海财经大学等公司和学校。针对民机经济性设计的相关议题，与会代表介绍了各自的研究成果，展开了热烈的讨论，本书即为本次会议的优秀论文成集而来。

本书可供从事相关工作的技术和管理人员使用，也可供决策人员参考。

大飞机出版工程

书 目

一期书目(已出版)

- 《超声速飞机空气动力学和飞行力学》(俄译中)
- 《大型客机计算流体力学应用与发展》
- 《民用飞机总体设计》
- 《飞机飞行手册》(英译中)
- 《运输类飞机的空气动力设计》(英译中)
- 《雅克-42M 和雅克-242 飞机草图设计》(俄译中)
- 《飞机气动弹性力学及载荷导论》(英译中)
- 《飞机推进》(英译中)
- 《飞机燃油系统》(英译中)
- 《全球航空业》(英译中)
- 《航空发展的历程与真相》(英译中)

二期书目(已出版)

- 《大型客机设计制造与使用经济性研究》
- 《飞机电气和电子系统——原理、维护和使用》(英译中)
- 《民用飞机航空电子系统》
- 《非线性有限元及其在飞机结构设计中的应用》
- 《民用飞机复合材料结构设计与验证》
- 《飞机复合材料结构设计与分析》(英译中)
- 《飞机复合材料结构强度分析》
- 《复合材料飞机结构强度设计与验证概论》
- 《复合材料连接》
- 《飞机结构设计与强度计算》
- 《飞机材料与结构的疲劳与断裂》(英文版)

三期书目

- 《适航理念与原则》
- 《适航性:航空器合格审定导论》(译著)

《民用飞机系统安全性设计与评估技术概论》
《民用航空器噪声合格审定概论》
《机载软件研制流程最佳实践》
《民用飞机金属结构耐久性与损伤容限设计》
《机载软件适航标准 DO-178B/C 研究》
《运输类飞机合格审定飞行试验指南》(编译)
《民用飞机复合材料结构适航验证概论》
《民用运输类飞机驾驶舱人为因素设计原则》

四期书目

《航空燃气涡轮发动机工作原理及性能》
《航空发动机结构》
《航空发动机结构强度设计》
《风扇压气机气动弹性力学》(英文版)
《燃气轮机涡轮内部复杂流动机理及设计技术》
《先进燃气轮机燃烧室设计研发》
《燃气涡轮发动机的传热和空气系统》
《航空发动机适航性设计技术导论》
《航空发动机控制》
《气动声学基础及其在航空推进系统中的应用》(英文版)
《叶轮机内部流动试验和测量技术》
《航空涡轮风扇发动机试验技术与方法》
《航空轴流风扇压气机气动设计》
《燃气涡轮发动机性能》(译著)

其他书目

《民用飞机环境监视系统》
《民用飞机飞行管理系统》
《飞机内部舒适性设计》(译著)
《航空航天导论》
《航空计算工程》
《涡动力学》(英文版)
《尾涡流控制》(英文版)
《动态工程系统的可靠性分析:快速分析方法和航空航天应用》(英文版)
《国际航空法导论》(译著)

浙江西子航空工业有限公司

ZHEJIANG XIZI AVIATION INDUSTRY CO., LTD.

浙江西子航空工业有限公司位于浙江省杭州市，公司成立于2010年3月2日，当前注册资本28000万元人民币。公司拥有德国进口五轴数控加工中心、三坐标测量机、激光跟踪仪、钣金液压成型机等设备，主要业务范围为各类飞机零部件的机械加工、钣金加工、热表处理和部件装配。

电话：0571-86096232

邮箱：xiziac@xiziuhc.com

www.xiziac.com



框板 / 连接杆



三坐标测量仪



德国巨浪五轴数控机加工中心



4米三轴数控机加工中心

沈阳西子航空产业有限公司

SHENYANG XIZI AVIATION INDUSTRY CO., LTD.

沈阳西子航空位于辽宁省沈阳市，成立于2009年9月16日，注册资金6000万元人民币。拥有数控加工中心、净化间、自动下料机、热压罐、C扫描等生产设备和复合材料实验室。主要业务有航空航天复合材料零件制造；波音、空客、庞巴迪等转包金属零件加工；飞机大部件装配等。

电话：024-89794025 024-89794318



德国肖茨热压罐



机加车间



美国格博下料机



塞斯纳L162机身装配

浙江西子航空紧固件有限公司

ZHEJIANG XIZI AEROSPACE FASTENERS CO., LTD.

浙江西子航空紧固件有限公司隶属于中国500强企业之一的西子联合。公司位于浙江省海宁市，成立于2011年10月20日。主要引进美国、德国等先进航空紧固件制造设备，具有精密数控机床加、冷镦、搓丝、不锈钢钝化、热处理、理化试验及检测等能力，主要制造航空新型紧固件和高端标准件。

电话：0573-89235728

邮箱：sales_xafc@xiziuhc.com



全自动表面处理生产线



美国进口5模5冲冷镦机



抽芯铆钉

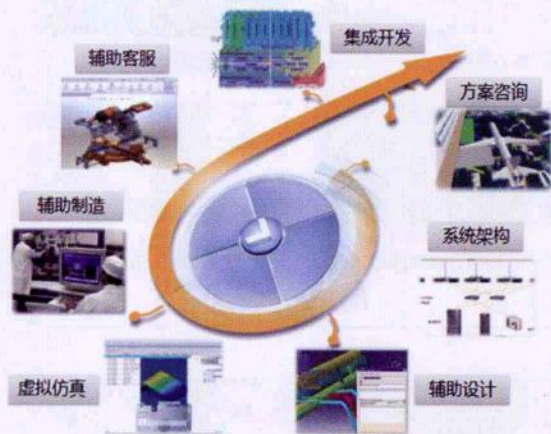


抽芯螺栓

安托集团

安托集团成立于1978年。自引进中国第一套CATIA软件至今，已为中国航空制造业信息化建设服务超过20年。我们矢志于为中国航空制造业提供最优秀的产品全生命周期管理解决方案，为民族制造业的进步与腾飞贡献力量！

多年以来，安托伴随着中国航空制造业的发展而成长，目前已经成长为可以为用户提供覆盖产品设计、制造及客服等产品研制全生命周期数字化解决方案的供应商。



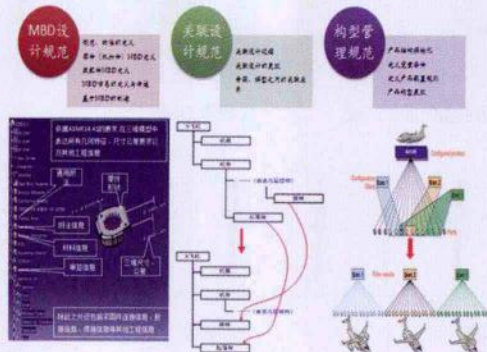
我们的业务领域包括：

1. 方案咨询
2. 系统架构
3. 集成开发
4. 虚拟仿真
5. 辅助设计
6. 辅助制造
7. 辅助客服

设计方法学

任何软件的应用与客户化都首先应当基于用户产品的设计方法学。对于企业来讲，真正适用的方法学一定是将其产品特点、技术理念与软件功能相结合的产物。

- ✓ MBD方法
- ✓ 关联设计方法
- ✓ 构型管理方法
- ✓ 多方案设计方法
- ✓ 并行协同方法



资源库

丰富易用的资源库，是设计效率与质量提升的重要支撑。基于知识工程技术与计算机软件技术，企业可以将众多种类的模型、文档、表格乃至存储于大脑中的经验知识转化为显性可用的设计资源。

- ✓ 统一标准件库
- ✓ 知识工程模板库
- ✓ 标准材料库
- ✓ 工具设备库



设计辅助

- ✓ 紧固件轻量化设计
- ✓ 飞机外形快速设计
- ✓ 三维标注辅助
- ✓ 模型质量检查
- ✓ 模型变更自动比对
- ✓ 产品更改结构化表达
- ✓ 快速建模辅助
- ✓ 产品色标管理
- ✓ VPM客户功能拓展
- ✓ CATIA复材功能拓展

.....



制造辅助



- ✓ 三维CAPP系统
- ✓ 三维工艺设计与仿真
- ✓ 紧固件工艺设计工具
- ✓ 弯管加工辅助工具
- ✓ 工装快速设计软件
- ✓ 快速NC编程软件
- ✓ 制造执行系统MES

.....

客服辅助

- ✓ 交互式产品手册制作系统
- ✓ Helpdesk系统
- ✓ 3D课件制作系统

.....





公司简介

中电科航空电子有限公司（简称“电科航电”）是中国电子科技集团公司（简称“中国电科”）通过整合内部优质资源，与四川省、成都市、成都市高新区通力合作共同出资组建，专门从事民用航空电子系统及设备业务的高新技术企业。公司注册资本 20 亿元，于 2009 年 6 月 16 日成立，总部设在成都。

电科航电主要从事民用飞机机载航空电子、通用飞机 / 无人机系统、空中交通管理、维修保障和训练模拟等业务。公司以国内控股、国际合作的方式，下辖成都华太航空科技有限公司、中电科泰雷兹航空电子有限公司、中电科柯林斯航空电子有限公司等下属公司。

电科航电作为中国电科航空电子产业的发展平台，肩负着国家发展自主民机航电系统与产业的战略使命。电科航电人将以 C919 航电系统为抓手，推动五大产业平衡发展，着力培育自主创新能力、适航取证能力和市场核心竞争力，将公司打造成为国内民机航空电子系统研发和生产的产业基地，成为国内一流、国际知名的航空电子系统和设备的供应商，树立中国电科民用航电品牌，承担更多的企业社会责任，为国家、地方经济发展和社会进步做出贡献。

发展愿景

电科航电公司将以提升国家自主创新能力和建立我国民用航空工业体系为己任，以集团公司“国内卓越，世界一流”宏伟目标为指引，坚持“一二五”发展思路，锐意进取，开拓创新，努力把公司建设成为“国内一流，国际知名”的航空电子供应商和系统集成商。

“一个目标”：到 2020 年，把电科航电公司打造成为“国内一流，国际知名”的航空电子供应商和系统集成商。

“两步走”：第一步，各项业务全面起步，基本建成现代企业制度和市场运行机制，初步树立中国电科航电品牌；第二步，研发、生产、适航及客服体系建成运行，公司业务融入全球航电产业链，基本达成公司远景目标。

“五大产业”：机载航空电子、通用飞机 / 无人机系统、空中交通管理、维修保障、训练模拟。

公司荣誉与资质



目 录

航空装备修复性维修费用的系统动力学仿真

刘 锦 邵光兴 黄兆东 1

全虚饰服务航空公司与低成本航空公司运营模式对比和发展趋势分析

姜千祎 13

飞机引进方式 综合评估策略

许 敏 张 康 23

民机复合材料结构设计成本驱动研究

郑 华 赵 荃 30

民用飞机设计过程中经济性管控研究

曾 征 邬 斌 芦 健 38

国产民用大型客机全寿命周期成本评估指标体系研究

陈晓和 翟晓鸣 48

人民币升值对我国民用飞机制造业的影响及其对策

陈晓和 顾嘉琪 韩 阳 59

机载娱乐系统客户化选项功能及经济性分析

徐 笑 68

民用飞机价值探讨

张 康 朱佳彬 李晓勇 75

基于模型驱动的民用飞机数字化设计方法

张莘艾 李浩敏 吴建华 92

飞机全寿命周期成本控制体系研究

邬 斌 104

中国机场发展现状、现存问题及应对策略

蒋 政 112

Aircraft Direct Operating Costs and Cost Index Usage — a Review

Xiaoyong Li, Wenbin Song, Andrew Pfeil, Yingchun Chen 126