



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

大飞机出版工程
总主编 顾诵芬

ARJ21新支线飞机技术系列
主编 郭博智 陈 勇

支线飞机设计技术 实践与创新

Regional Aircraft Design Technology
Practice and Innovation

陈 勇 谢灿军 段 林 等 著



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



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

ARJ21新支线飞机技术系列

主编 郭博智 陈勇

支线飞机设计技术 实践与创新

Regional Aircraft Design Technology
Practice and Innovation

陈勇 谢灿军 段林 等著



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



大飞机读者俱乐部

内容提要

本书回顾了 ARJ21-700 飞机的研制过程,对研制过程中的一些创新设计和设计实践进行了总结和提炼,以便形成可以借鉴的经验,为后续新型号研制提供一些参考,本书所涉及的内容包括了飞机型号研制过程中的设计理念、设计体系、技术管理、技术风险与决策、市场分析、适航验证、需求管理、构型控制、供应商管理、客户服务、设计攻关事例概述与分析等内容。

本书以“设计攻关事例及设计创新”作为主要内容进行重点描述,对各“技术攻关创新事例”从问题背景、技术难点、国内外现状、技术方案、技术难点、解决途径和取得的成果等方面进行了说明。

图书在版编目(CIP)数据

支线飞机设计技术实践与创新/陈勇等著. —上海:上海交通大学出版社,2017

大飞机出版工程

ISBN 978-7-313-18557-0

I. ①支… II. ①陈… III. ①飞机—设计 IV. ①V22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 307696 号

支线飞机设计技术实践与创新

著 者:陈 勇 谢灿军 段 林

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:谈 毅

印 制:上海万卷印刷股份有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

字 数:528 千字

版 次:2018 年 10 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-18557-0/V

定 价:168.00 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:27.5

印 次:2018 年 10 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:021-56928178

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原副主任、中国科学院和中国工程院院士）

副总主编

贺东风（中国商用飞机有限责任公司董事长）

林忠钦（上海交通大学校长、中国工程院院士）

编委会（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、中国工程院院士）

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副院长、教授）

任和（中国商飞上海飞机客户服务公司副总工程师、教授）

李明（中国航空工业集团沈阳飞机设计研究所科技委委员、中国工程院院士）

吴光辉（中国商用飞机有限责任公司副总经理、总设计师、中国工程院院士）

汪海（上海市航空材料与结构检测中心主任、研究员）

张卫红（西北工业大学副校长、教授）

张新国（中国航空工业集团副总经理、研究员）

陈勇（中国商用飞机有限责任公司工程总师、ARJ21飞机总设计师、研究员）

陈迎春（中国商用飞机有限责任公司 CR929 飞机总设计师、研究员）

陈宗基（北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院教授）

陈懋章（北京航空航天大学能源与动力工程学院教授、中国工程院院士）

金德琨（中国航空工业集团公司原科技委委员、研究员）

赵越让（中国商用飞机有限责任公司总经理、研究员）

姜丽萍（中国商用飞机有限责任公司制造总师、研究员）

曹春晓（中国航空工业集团北京航空材料研究院研究员、中国工程院院士）

敬忠良（上海交通大学航空航天学院常务副院长、教授）

傅山（上海交通大学电子信息与电气工程学院研究员）

ARJ21 新支线飞机技术系列

编 委 会

顾 问

- 赵越让 (中国商用飞机有限责任公司总经理、研究员)
罗荣怀 (中国商用飞机有限责任公司原副总经理、研究员)
吴光辉 (中国商用飞机有限责任公司副总经理、中国工程院院士)

主 编

- 郭博智 (中国商用飞机有限责任公司副总经理、ARJ21 项目原副总指挥、研究员)
陈 勇 (中国商用飞机有限责任公司工程总师、ARJ21 项目总设计师、研究员)

副主编

- 谢灿军 (中国商用飞机有限责任公司 ARJ21 项目办公室主任、研究员)
李 玲 (中国商飞上海飞机客户服务有限公司总经理、原上海飞机设计研究院项目行政指挥、研究员)

编 委

- 刘乾酉 (中航商用飞机有限责任公司原副总经理、研究员)
徐庆宏 (中国商用飞机有限责任公司科技委副主任、研究员)
田剑波 (中国商飞上海飞机设计研究院 ARJ21 项目副总设计师、研究员)
常 红 (中国商飞上海飞机设计研究院 ARJ21 项目副总设计师、研究员)
赵克良 (中国商飞上海飞机设计研究院 ARJ21 项目副总设计师、研究员)
修忠信 (中国商飞上海飞机设计研究院 ARJ21 项目副总设计师、研究员)
朱广荣 (中国商飞上海飞机设计研究院 ARJ21 项目副总设计师、研究员)
吕 军 (中国商飞上海飞机设计研究院 ARJ21 项目副总设计师、研究员)
赵春玲 (中国商飞上海飞机设计研究院 ARJ21 项目副总设计师、研究员)
辛旭东 (中国商飞上海飞机设计研究院 ARJ21 项目副总设计师、研究员)
徐有成 (中国商飞上海飞机设计研究院 ARJ21 项目副总设计师、研究员)
柏文华 (中国商飞上海飞机客户服务有限公司 ARJ21 项目副总设计师、研究员)
尹力坚 (中国商飞上海飞机制造有限公司 ARJ21 型号总工程师、研究员)
王 飞 (中国商飞上海飞机设计研究院院长助理、ARJ21 工程管理办公室主任、研究员)
任 和 (中国商飞上海飞机客户服务有限公司副总工程师、教授)
叶群峰 (中国商飞上海飞机设计研究院 ARJ21 工程管理办公室副主任、高级工程师)

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、比重大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。军事和民生的需求促进了飞机迅速而不间断的发展和运用,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,也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多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标志着我国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 年造出与波音公司

B737 和空客公司 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《飞机性能及算法》,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的飞机研制工作。我本人作为航空事业发展 50 多年的见证人,欣然接受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的培养提供一套系统、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。

“大飞机出版工程”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》《英汉航空缩略语词典》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

序

民用飞机产业是大国的战略性产业。民用客机作为一款高附加值的商品,是拉动国家经济发展的重要力量,是体现大国经济和科技实力的重要名片,在产业和科技上具有强大的带动作用。

自新中国成立以来,中国民机产业先后成功地研制了 Y-7 系列涡桨支线客机和 Y-12 系列涡桨小型客机等民用飞机。在民用喷气客机领域,曾经在 20 世纪 70 年代自行研制了运-10 飞机,国际合作论证了 MPC-75、AE-100 等民用客机,合作生产了 MD-80 和 MD-90 飞机。民机制造业转包生产国外民机部件,但始终没有成功研制一款投入商业运营的民用喷气客机。

支线航空发展迫在眉睫。2002 年 2 月,国务院决定专攻支线飞机,按照市场机制发展民机,并于 11 月 17 日启动 ARJ21 新支线飞机项目,意为“面向 21 世纪的先进涡扇支线飞机(Advanced Regional Jet for the 21st Century)”。从此,中国民机产业走上了市场机制下的自主创新之路。

ARJ21 作为我国民机历史上第一款按照国际通用适航标准全新研制的民用客机,承担着中国民机产业先行者和探路人的角色。跨越十六年的研制、取证和交付运营过程,经历的每一个研制阶段,解决的每一个设计、试验和试飞技术问题,都是一次全新的探索。经过十五年的摸索实践,ARJ21 按照民用飞机的市场定位打通了全新研制、适航取证、批量生产和客户服务的全业务流程,突破并积累了喷气客机全寿命的研发技术、适航技术和客户服务技术,建立了中国民机产业技术体系和产业链,为后续大型客机的研制打下了坚实的基础。

习近平总书记考察中国商飞公司时要求改变“造不如买、买不如租”的逻辑,坚持民机制造事业“不以难易论进退”,在 ARJ21 取证后要求“继续弘扬航空报国精神,总结经验、迎难而上”。马凯副总理 2014 年 12 月 30 日考察 ARJ21 飞机时,指出,“要把 ARJ21 新支线飞机项目研制和审定经验作为一笔宝贵财富认真总结推广”。工信部副部长苏波指出:“要认真总结经验教训,做好积累,形成规范和手册,指导 C919 和后续大型民用飞机的发展。”

编著这套书,一是经验总结,总结整理 2002 年以来 ARJ21 飞机研制历程中设计、取证和交付各阶段开创性的重要成果及宝贵经验;二是技术传承,将民机研发技术专家、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,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民机理论与实践相结合的知识体系,为飞机设计技术人员提供参考和学习的材料;三是指导保障,为大飞机研制提供有力的技术保障。

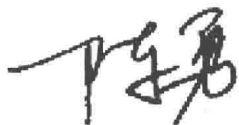
丛书主要包括了项目研制历程、研制技术体系、研制关键技术、市场研究技术、适航技术、运行支持系统、关键系统研制和取证技术、试飞取证技术等分册的内容。本丛书结合了 ARJ21 的研制和发展,探讨了支线飞机市场技术要求、政府监管和适航条例、飞机总体、结构和系统关键技术、客户服务体系、研发工具和流程等方面的内容。由于民用飞机适航和运营要求是统一的标准,在技术上具有高度的相似性和相关性,因此 ARJ21 在飞机研发技术、适航验证和运营符合性等方面取得的经验,可以直接应用于后续的民用飞机研制。

ARJ21 新支线飞机的研制过程是对中国民机产业发展道路成功的探索,不仅开发出一个型号,而且成功地锤炼了研制队伍。参与本套丛书撰写的专家均是 ARJ21 研制团队的核心人员,在 ARJ21 新支线飞机的研制过程中积累了丰富且宝贵的实践经验和科研成果。丛书的撰写是对研制成果和实践经验的一次阶段性的梳理和提炼。

ARJ21 交付运营后,在飞机的持续适航、可靠性、使用维护和经济性等方面,继续经受着市场和客户的双重考验,并且与国际主流民用飞机开始同台竞技,因此需要针对运营中间发现的问题进行持续改进,最终把 ARJ21 飞机打造成为一款航空公司愿意用、飞行员愿意飞、旅客愿意坐的精品。

ARJ21 是“中国大飞机事业万里长征的第一步”，通过 ARJ21 的探索和积累，中国的民机产业会进入一条快车道，在不远的将来，中国民机将成为彰显中国实力的新名片。ARJ21 将继续肩负着的三大历史使命前行，一是作为中国民机产业的探路者，为中国民机产业探索全寿命、全业务和全产业链的经验；二是建立和完善民机适航体系，包括初始适航、批产及证后管理、持续适航和运营支持体系等，通过中美适航当局审查，建立中美在 FAR/CCAR-25 部大型客机的适航双边，最终取得 FAA 适航证；三是打造一款具有国际竞争力的喷气支线客机，填补国内空白，实现技术成功、市场成功、商业成功。

这套丛书获得 2017 年度国家出版基金的支持，表明了国家对“ARJ21 新支线飞机”的高度重视。这套书作为上海交通大学出版社“大飞机出版工程”的一部分，希望该套图书的出版能够达到预期的编著目标。在此，我代表编委会衷心感谢直接或间接参与本系列图书撰写和审校工作的专家和学者，衷心感谢为此套丛书默默耕耘三年之久的上海交通大学出版社“大飞机出版工程”项目组，希望本系列图书能为我国在研型号和后续型号的研制提供智力支持和文献参考！



ARJ21 总设计师

2017 年 9 月

前 言

ARJ21-700 飞机是由中国商用飞机责任有限公司研制的具有完全自主知识产权的 70~90 座级中短程支线客机,该型号于 2002 年 4 月 30 日经国务院正式批准立项,2008 年 11 月 28 日在上海实现首飞,经过了研发试飞和适航验证试验等,于 2014 年年底取得型号合格证。

经过 13 年的艰苦努力,ARJ21-700 飞机终于从图纸变成了具有一定市场竞争力的产品,在飞机设计过程中,融入了先进的设计理念和先进的设计技术,攻克了许多难关,突破了许多瓶颈,积累了宝贵经验,实现了技术创新,取得了一大批科研成果和技术专利。

在 ARJ21-700 飞机研制过程中,技术研究方面取得了许多突破,例如民用飞机总体设计技术、气动设计与布局技术、机体防冰与验证技术、系统综合与验证技术、数字化设计技术、全机安全性分析与验证技术、特定风险分析与验证技术、适航符合性及验证技术、动力装置与机体一体化设计技术、综合航电设计技术、构型控制与项目管理等方面进行了创新,实现了关键技术的突破。此外在技术管理领域;在构型控制、需求管理以及决策体系方面也进行了大胆的尝试和创新,为后续民用飞机的研制探索出一条新路,积累了宝贵的经验,值得借鉴。

本书涉及的内容广、涵盖的面比较宽,为了尽最大可能地将 ARJ21-700 飞机研制过程中的创新设计呈现在读者面前,本书分为上、中、下三篇共 39 章进行描述,各篇内容侧重点不同,上篇为民机技术体系创新,共 12 章,中篇为设计技术与实践,共 14 章,下篇为验证试验与试飞,共 13 章。

上篇主要介绍了飞机型号研制过程中的设计理念、设计体系、技术管理、技术风险与决策、市场分析、适航验证、需求管理、构型控制、供应商管理、客户服务、设计攻关事例概述与分析等内容。

中篇主要介绍了全尺寸疲劳试验、气动弹性适航符合性设计、技术出版物编制、维修审查委员会、飞机机载软件管理、标准材料和信息化技术、备份仪表 ISI

系统、水上迫降漂浮特性计算分析、数字样机、驾驶舱视界设计、全数字化外形设计、曲面风挡设计、可靠性/安全性分析、中央维护系统、电传系统、风挡组合件安装等内容及适航符合性分析技术。

下篇主要介绍了起落架轮胎爆破试验、地面应急撤离试验、电磁环境效应、转子爆破适航符合性验证方法、全机静力试验、气弹符合性验证、飞机鸟撞设计分析与验证、液压能源系统、环空系统、燃油系统、电源照明系统设计与验证、声疲劳、结构损伤容限、内饰抗火焰烧穿试验等内容。

本书在编写过程中,得到了各研究部门和相关专业的大力支持,他们提供了飞机研制过程中各创新案例的相关素材,为此付出了辛勤的劳动,有他们的无私奉献,才有了这本书的浮出,在此对他们的默默工作表示衷心的感谢和敬意。

发展中国的民机产业、让老百姓坐上中国人自己设计制造的喷气式飞机,是几代航空人的夙愿,他们长期奋斗、长期探索,付出了沉痛的代价,攻克了一个个难关,希望能找到一条发展中国民机产业的道路,这一愿望在 ARJ21-700 飞机上得到了实现。

飞机研制是一个复杂、漫长的过程,涉及的专业面很广,本书所选取的“设计攻关事例及设计创新”事例不可能面面俱到,不可能将飞机研制过程的所有创新设计全部呈现,只能尽量选取飞机研制过程中具有代表性的事例做简要描述,如有遗漏或片面性之处,希望读者在阅读过程中予以包涵和谅解,并欢迎批评指正。

目 录

0 绪论 1

上篇 民机技术体系创新

1 自主创新发展民用客机 7

- 1.1 自主创新是企业发展的主动力 7
- 1.2 自主创新是企业发展的必由之路 8
- 1.3 集成创新是民机先进性的重要体现 10
 - 1.3.1 莱特兄弟创造了人类首架真正的飞机 10
 - 1.3.2 麦道公司在世界民用飞机领域的第一次辉煌 10
 - 1.3.3 麦道、波音、空客公司在窄体干线飞机方面的集成创新和竞争 11

2 中国民用客机的曲折创新道路 15

- 2.1 自主研制之路,研制 Y-7 涡桨客机和运-10 喷气式客机 15
- 2.2 国际合作研制之路,联合研制 MPC75、AE100 16
- 2.3 国际合作生产之路,整机生产 MD82、MD90 飞机 17
- 2.4 自主研发 ARJ21 飞机取得我国喷气客机首张型号合格证 18

3 按照市场要求研制 ARJ21 飞机 20

- 3.1 ARJ21 是按照国内和国际航空支线市场需求研制的喷气式支线客机 20
- 3.2 ARJ21 是按照国际通用模式与国际民用喷气支线客机制造商同台竞技 22
- 3.3 ARJ21 是中国首架商业化运作和商业运营的喷气支线客机 23
- 3.4 ARJ21 是按照市场要求确定飞机的设计要求与目标 24
- 3.5 ARJ21 飞机确定的市场定位和市场目标 26

- 3.6 ARJ21 飞机商载航程的确定体现了市场竞争力和商业价值 26
- 3.7 ARJ21 飞机的座级选择和客舱舒适性 27
- 3.8 ARJ21 飞机的飞行性能 28
- 3.9 ARJ21 飞机的高温、高原特性 28
- 3.10 ARJ21 飞机的经济性要求 28
- 3.11 ARJ21 飞机噪声水平和排污要求 29
- 3.12 ARJ21 飞机的运营要求 29

- 4 ARJ21 飞机设计理念的创新 31**
 - 4.1 安全观 31
 - 4.2 市场观 35
 - 4.3 客户观 36
 - 4.4 舒适性 38
 - 4.5 适应性 38
 - 4.6 共通性 39
 - 4.7 经济性 39
 - 4.8 系列化 40

- 5 ARJ21 飞机技术管理创新 42**
 - 5.1 技术合作体系 42
 - 5.2 技术管理体系 43
 - 5.2.1 总师系统 43
 - 5.2.2 总师系统职责 44
 - 5.2.3 副总设计师职责 45
 - 5.2.4 试飞副总设计师 45
 - 5.2.5 适航副总设计师 46
 - 5.2.6 型号总工程师 46
 - 5.2.7 产品支援和客户服务副总设计师 47
 - 5.3 技术风险决策机制 47
 - 5.3.1 技术决策责任 47
 - 5.3.2 技术决策流程 47
 - 5.3.3 技术问题的决策 48
 - 5.3.4 技术决策会签 48
 - 5.3.5 技术决策的分发、督办和落实 48
 - 5.3.6 技术、进度、经费的综合决策 48

- 5.3.7 试飞技术问题的决策 48
- 5.4 主制造商-供应商模式 48
- 5.5 系统联合定义(JDP)和构型控制 49
- 5.6 并行工程 50
- 5.7 联络工程体系 50

- 6 ARJ21 飞机市场技术创新 52**

- 7 适航技术创新 57**
 - 7.1 适航技术创新 57
 - 7.2 适航管理体系 58
 - 7.3 符合性文件适航审查 59
 - 7.3.1 角色与职责 59
 - 7.3.2 工作原则和内审检查单 59
 - 7.3.3 适航内审专家制度 60
 - 7.4 适航符合性文件体系 60
 - 7.5 型号合格审定大纲 61

- 8 客户服务技术 64**
 - 8.1 基于收益评估的航线优选方法、模型及软件 64
 - 8.2 ARJ21 飞机飞行计划软件 65

- 9 需求管理 66**
 - 9.1 管理程序 66
 - 9.1.1 需求信息架构定义 66
 - 9.1.2 功能定义 68
 - 9.1.3 需求捕获 69
 - 9.1.4 需求的确认 71
 - 9.1.5 需求验证活动 73
 - 9.1.6 职责分工 73
 - 9.2 经验教训 75

- 10 构型管理创新 76**
 - 10.1 构型管理的目标 76
 - 10.2 构型管理职责 77

- 10.2.1 公司总部 77
 - 10.2.2 设计研发中心/项目总设计师系统 77
 - 10.2.3 总装制造中心 78
 - 10.2.4 客户服务中心 78
 - 10.2.5 试飞中心 78
 - 10.2.6 基础能力中心 78
 - 10.3 构型管理理论基础 79
 - 10.4 构型管理的原则和要求 79
 - 10.5 构型管理组织体系 81
 - 10.5.1 项目构型管理委员会 81
 - 10.5.2 构型管理委员会办公室 82
 - 10.5.3 构型控制委员会 82
 - 10.5.4 构型控制委员会办公室 83
 - 10.5.5 构型控制团队 83
 - 10.5.6 中心构型管理办公室 84
 - 10.6 构型标识 84
 - 10.7 构型基线 84
 - 10.8 构型控制 86
 - 10.8.1 构型控制的目的 86
 - 10.8.2 更改的控制 88
 - 10.9 构型纪实 91
 - 10.10 构型审核 92
 - 10.10.1 功能构型审核 92
 - 10.10.2 物理构型审核 92
 - 10.11 飞机构型的配置 92
 - 10.11.1 基本型飞机 93
 - 10.11.2 客户特定的飞机 93
 - 10.11.3 字母方案中字母的定义 93
 - 10.12 证后构型管理要求 94
- 11 供应商管理 95**
- 11.1 从职能化的区域管理到团队式的项目管理 95
 - 11.1.1 最早的职能化管理模式 95
 - 11.1.2 成立供应商项目管理团队 96
 - 11.2 从独立化的项目管理到集成式的供应链管理 96