



中航工业首席专家
技术丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目
中航工业科技与信息化部组织编写

梁相文 编著

未来试飞新技术挑战

CHALLENGE OF FUTURE
NEW FLIGHT TEST TECHNOLOGY

航空工业出版社

014057644

中航工业首席专家技术丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目

未来试飞新技术挑战

梁相文 编著

V217
14



航空工业出版社

北京



北航

C1742640

V217

14

内 容 提 要

本书全面论述了未来航空器飞行试验技术发展进程,系统地阐述了未来新型飞机、发动机、机载设备、航空电子系统的试飞新技术,以及飞行试验测试新技术。全书共分 28 章,主要内容包括:航空器飞行试验研究综述,飞行品质动态特性评价,飞机载荷与环境谱试飞,矢量推力发动机试飞,超燃冲压推进发动机试飞,体系作战试飞,航空雷达试飞,航空测试,空天飞机试飞,航空环控救生系统试飞,航空器试飞测试与评价体系,飞行器电磁隐身试飞测试技术和隐身效能评估等。

本书可供从事航空飞行器设计、制造、试验和管理的工程技术人员学习参考,也可以作为军队相关领域科研人员和航空航天专业相关院校教师教学及研究生学习的参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

未来试飞新技术挑战 / 梁相文编著. -- 北京: 航空工业出版社, 2014. 7

(中航工业首席专家技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 5165 - 0379 - 9

I. ①未… II. ①梁… III. ①飞行试验 IV. ①V217

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 148283 号

未来试飞新技术挑战

Weilai Shifei Xinjishu Tiaozhan

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

北京世汉凌云印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2014 年 7 月第 1 版

2014 年 7 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 33

字数: 842 千字

印数: 1—2000

定价: 188.00 元

总 序

航空工业被誉为“现代工业之花”，是国家战略性高技术产业，同时也是技术密集、知识密集、人才密集的行业。中国是世界航空产业格局中的后来者，而中航工业作为支撑中国航空工业发展的核心力量，履行国家使命，必须大力推进自主创新，必须在科技创新和知识创新上有所作为。

从 2009 年开始，中航工业按照航空技术体系，在科研一线技术人才中陆续遴选出近百位集团公司级“首席技术专家”。此举既是集团公司对这些技术人才技术水平和能力的肯定，也意味着集团公司赋予了他们更大的责任和使命。我们希望这些技术专家在今后的工作中，要继续发挥科研技术带头人的作用，更加注重学习和创新，不断攀登航空科技新的高峰；要坚持潜心科研，踏实工作，不断推动航空科技进步；要带队伍、育人才，打造高水平的科研队伍，努力培养更多的高层次专业技术人才，为中航工业的发展做出更大的贡献。

21 世纪企业的成功，越来越依赖于企业所拥有知识的质量，利用企业所拥有的知识为企业创造竞争优势和持续竞争优势，这对企业来说始终是一个挑战。正因如此，“知识管理”在航空工业等高科技产业领域得以快速推广和应用。依照这个思路，将首席技术专家们所积淀和升华出来的显性或隐性知识纳入知识管理体系，是进一步发挥其人才效益的重要方式，也是快速提升中航工业自主创新能力的的重要途径。

知识管理理论的核心要义，就是把知识作为一种重要资产来进行管理，正如知识管理的创始人斯威比所说：“知识资本是企业的一种以相对无限的知识为基础的无形资产，是企业核心竞争能力的源泉。”如果专家们把其掌握的各类显性或隐性知识，用书面文字的形式呈现出来，就相当于构建了一个公共资料库，提供了一个交流平台，可以让更多的人从中受益——这就是出版这套“中航工业首席专家技术丛书”的初衷。

集团公司的这近百位“首席技术专家”，基本覆盖了航空工业的所有专业。每位专家撰写一部专著，集合起来，就相当于一个航空工业的“四库全书”，很有意义。在此，我要特别感谢这些专家们，他们在繁重的科研生产任务中，不辞辛劳地撰写出了自己的专著，无私地将自己的宝贵经验呈现给大家，担当起了传承技术、传承历史的责任。

相信这套丛书的出版，会使更多的航空科技工作者从中获益，也希望在一定程度上能助力中航工业的自主创新，对我国航空工业的科技进步产生积极影响。

林左鸣

中国航空工业集团公司董事长

前 言

航空器设计、制造、飞行试验研究是航空器发展的三大支柱。飞行试验研究贯穿航空基础研究、型号研制和型号发展的全过程，其发展水平对于航空科研及航空工业发展全局，乃至国家安全有着举足轻重的作用。

航空技术装备的研制是一个大系统工程，飞行试验是这一系统工程中的重要环节。飞行试验遵循飞机样机试飞（工厂试飞）和分系统试飞→国家鉴定试飞→使用试飞的模式。通常航空发动机和机载设备等分系统试验是在飞行实验室中预先进行的试飞，国家鉴定试飞是对航空技术装备的综合鉴定试飞。通过鉴定试飞，发现和暴露分系统或系统中的问题和缺陷，并进行设计调整、消除缺陷，直至达到使用方提出的战术技术要求和使用技术要求，最终向使用部门和用户交付合格的航空产品。

飞行试验涉及的专业技术面广，对试飞员和试飞工程师的技术水平、测试设备、试验机与试验场条件、机务/场务条件和地面试验设施等有着极高的要求。

随着未来新型号飞机和航空装备研制步伐的加速和大量具有自主知识产权新技术的开发，新领域和高风险试飞项目大幅增加。从航空工业发展战略考虑，飞行试验既要为新机研制提供支撑，也要推动航空科技的发展，适应航空工业战略转型和自主创新的发展要求。探索性飞行试验是推动和加快航空器创新研发和航空装备设计技术、试验技术、制造技术的有力而有效的途径。探索性飞行试验包括探索新的设计思想、新的设计概念和新的工作原理的试飞，主要体现在为新概念飞机、新能源发动机、新概念机载武器，以及未来先进航空飞行器概念及其体系的研究型试飞领域。应用型研究飞行试验是为航空器研发产品和型号前期设计提供验证试验数据，主要包括大气湍流特性飞行研究、平流层空间大气特性飞行研究、结冰气象飞行研究、大型飞机风洞/飞行相关性研究、高机动飞机风洞/飞行相关性研究、飞行与高空台试验相关性研究、目标特性飞行研究、地杂波和海杂波特性飞行研究、人机工程等应用型研究飞行试验。飞行试验基础技术研究包括飞行试验的新方法、新工具和新手段的开发与研究。主要是为了提升飞行试验总体技术、先进测试技术、改装技术、飞行仿真技术、数据处理与分析技术、飞行保障技术、飞行驾驶技术和空地一体化试飞技术等基础能力。空天飞行器和机载科学飞行试验也是试飞研究的重要领域，主要体现在空天飞机试飞、临近空间飞行器试飞、空射运载飞行试验、微重力及空间生命科学失重飞行试验、机载定向能武器飞行试验、高空高速导弹导引系统飞行试验、地球资源遥感飞行试验、航测试验飞机飞行试验、高高度模拟卫星飞行试验、气候气象研究飞行试验、星载系统校飞飞行试验等。

全书共分 28 章，第 1 章航空器飞行试验研究综述，介绍了航空器飞行试验研究的地位和作用，航空飞行试验研究的特点，航空器飞行试验研究分类，航空器飞行试验的主要

专业结构,以及未来航空器飞行试验技术研究的范畴,未来航空器飞行试验技术研究的发展趋势。第2章飞行品质动态特性评估,概括了等效系统评估方法研究内容,研究了等效系统模型、等效系统频域拟配方法和等效系统拟配软件设计。第3章虚拟飞行试验,探讨了飞行器虚拟飞行试验方法的特点、虚拟飞行试验的类型,给出了虚拟飞行试验的实例,展望了虚拟飞行试验的今后发展,探讨了虚拟飞行试验系统的设计。第4章机/尾翼应变计载荷校准技术,给出了飞机结构对象和飞机结构的校准案例,讨论了飞机试验设计。第5章热载荷与热强度试飞技术,介绍了测试系统设计、加热技术、样本固定和边界条件模拟、温度测试、高温应变测试、热结构无损检测等,并给出了YF-12A飞机热载荷测量评价。第6章飞机结构载荷/环境谱测量和编制技术研究了飞机飞行载荷谱实测技术。第7章飞机结构耐久性严重使用载荷谱编制技术提出了飞机结构严重谱的含义,给出了编制严重谱的原始数据和严重谱编制方法。第8章飞机结构健康监控,分析了飞机结构的使用寿命的分散性,讨论了单机寿命监控、飞机结构健康状况,以及飞机结构健康监控技术发展概况和研究方向等。第9章航空器颤振飞行试验,探讨了航空器试验激励技术、试飞方法、数据事后处理、外挂颤振试验和试验原则等。第10章抖振试飞技术,介绍了F-22等飞机的抖振飞行试验。第11章气动伺服弹性试飞新技术,主要阐述了表示和分析方法,以及地面和飞行试验。第12章航空器振动声学研究,主要阐述了声学基础、声的测量和飞行试验等。第13章航空推力矢量发动机飞行试验,探讨了推力矢量关键技术、推力矢量技术的演示验证、推力矢量发动机的飞行试验验证总体思路和推力矢量发动机关键技术试飞等。第14章超燃冲压推进系统飞行试验,介绍了超燃冲压推进系统的飞行试验、试验过程及试验方案验证、分析及预测设计工具的验证、飞行试验前子部件特性试验、飞行试验规划及实施、参数测量方法、飞行试验实施方法和飞行试验的安全控制等。第15章航空雷达试飞技术,介绍了相控阵雷达分类和系统构成,讨论了相控阵雷达试飞技术和方法等。第16章体系作战能力试飞技术,阐述了体系作战能力试飞研究的意义、试飞对象分类和系统构成,探讨了复杂电磁环境下武器装备作战能力试飞研究等。第17章机载电子对抗系统,叙述了雷达侦察告警原理、有源/无源干扰原理,以及总体试飞技术和方法等。第18章空地一体化试飞,介绍了空地一体化影子试飞、空地一体虚拟试飞、空地一体战术试飞,以及空地一体化试飞网络系统和空地一体化试飞系统整体构架等。第19章航空环控系统试飞技术,叙述了试飞对象分类和系统构成,以及环境控制系统原理。第20章航空救生系统试飞技术,引述了个体防护系统概论和空投空降系统概论,讨论了空投空降系统试飞技术和方法,以及空投空降鉴定程序和评估等。第21章电磁隐身试飞测试技术和隐身效能评估,主要针对雷达目标特性动态测量进行了分析和研究,探讨了RCS测试技术和隐身性能鉴定,以及作战隐身效能评估等。第22章飞行试验机载测试技术,概述了未来试飞测试的特点和测试系统体系架构发展,描述了试飞中的网络测试系统等。第23章飞行试验遥测技术,概述了国外航空飞行试验遥测技术研究与应用,展望了未来试飞遥测传输技术等。第24章飞行试验数据处理技术,介绍了海量试飞数据的存储与管理技术、存储系统架构、试飞数据处理的新架构与新模式以及海量试飞数据挖掘等。第25章空天飞行器飞行试验,介绍了高超声速飞行器机载测试设备及其在试飞中的应用例子等。第26章高速飞行器气动力特性飞行试验,概述了高速飞行验证机(HSFD)的飞行试验等。第27章空天一体化协同试飞技术,概述了国外研究现状及发展趋势,探讨了

主要分系统试飞技术和方法等。第28章空天飞机及临近空间飞行器试飞,讨论了空间飞行器及其相关设备的飞行试验、空间飞行器的关键技术,分析了空间飞行器飞行试验的基本要求 and 内容,以及空间飞行器的飞行模拟技术等。

本书各章节侧重于未来航空和空间飞行器的试飞技术,尽可能准确地叙述有关领域和内容的基本概念、基本原理,并在此基础上引出相关领域和专业涉及的飞行器的试飞技术,力求对不同飞行器、武器装备系统等的飞行试验给出总体试验体系架构、基本思路 and 要点。详细内容读者可查阅有关的技术指南、手册、专题研究报告、技术报告等资料。

本书主要供从事航空飞行器和空间飞行器试验和使用的工程技术人员及飞行器设计、研究的科研人员使用,特别适用于飞行器试飞研究、试验测量和军用标准编制的科研和工程技术人员。对从事航天、船舶、兵器等其他装备设计、分析、试验、使用的工程技术人员,以及航空和其他理工科院校相关专业师生也具有参考价值。

各章撰写分工如下:第1章由李朝晖撰写,第2章由崔益华撰写,第3章由章伯定撰写,第4章由汤吉晨、李俊撰写,第5章由李俊、高尚撰写,第6章和第7章由蒋祖国撰写,第8章由田丁栓撰写,第9章由霍幸莉、卢晓东撰写,第10章由李小路撰写,第11章由王东森撰写,第12章由宋国智撰写,第13章由朱彦伟、姜健、屈霁云撰写,第14章由潘鹏飞、杜毅洁、郭斌、寿圣德、屈霁云撰写,第15章由杨亚慧撰写,第16章由梁葆华撰写,第17章由于天超撰写,第18章由肖华、雷鸣撰写,第19章由王鹏撰写,第20章由史继斌撰写,第21章由王震撰写,第22章由刘明、霍培锋、吕鹏涛、沙永忠、李盘文、闫利军、王锦、白仲斐撰写,第23章由范旭明、吴悠、程娟、霍培锋、郭世伟、刘丹撰写,第24章由党怀义、刘威、李杨、张阿莉、霍培锋、彭国金撰写,第25章由钱馄撰写,第26章由方自力撰写,第27章由陈永禄撰写,第28章由张晓敏、章伯定、刘庆、张文帅撰写。全书由李朝晖统稿,最后由梁相文总审。

本书由中国航空工业集团公司下属的航空工业出版社组织编写和出版工作。本书在撰写过程中得到了航空工业出版社的指导和帮助,航空工业出版社为本书的出版付出了艰辛的劳动。作者所在的中国飞行试验研究院给予了大力的支持和帮助,在本书编著过程中得到了冯晓林、王凤亭、王建军、朱良龙、秦超敏、田煜等同事的大力协助,在此一并表示衷心感谢。

由于时间仓促,以及作者水平和工作经历有限,书中难免有错误或不当之处,敬请各位专家和工程技术人员在阅读后提出宝贵意见。

梁相文

2014年4月

目 录

第 1 章 航空器飞行试验研究综述	(1)
1.1 航空器飞行试验研究的地位和作用	(1)
1.1.1 飞行试验研究是航空科学技术领域的重要支柱	(1)
1.1.2 飞行试验研究贯穿于新型航空器研制的全过程	(3)
1.1.3 飞行试验研究在航空技术发展中的作用	(6)
1.2 航空飞行试验研究的特点	(6)
1.2.1 飞行试验研究凸显试验结果的真实性	(6)
1.2.2 飞行试验的高度风险性	(6)
1.2.3 飞行试验内涵的复杂性	(7)
1.2.4 飞行试验周期的紧迫性	(9)
1.2.5 飞行试验工程管理的艰巨性	(10)
1.2.6 飞行试验耗资强度的巨大性	(11)
1.3 航空器飞行试验研究分类	(12)
1.3.1 新概念探索试飞	(12)
1.3.2 型号预先研究性试飞	(16)
1.3.3 新技术和新系统验证试飞	(17)
1.3.4 鉴定试飞	(18)
1.3.5 使用试飞	(19)
1.4 航空器飞行试验的主要专业结构	(20)
1.5 未来航空器飞行试验技术研究的范畴	(20)
1.6 未来航空器飞行试验技术研究的的发展趋势	(21)
1.6.1 利用研究试验机开展演示验证技术	(21)
1.6.2 综合系统试飞	(22)
1.6.3 飞机设计—制造—试飞一体化	(22)
1.6.4 空天一体化飞行试验	(23)
1.6.5 网络信息化武器系统飞行试验	(23)
1.6.6 无人机飞行试验	(23)
1.6.7 飞行试验测试	(23)
1.6.8 航空器试验群相关性研究	(24)
第 2 章 飞行品质动态特性评估	(25)
2.1 概论	(25)

2.2 等效系统评估方法研究内容	(26)
2.2.1 等效系统拟配模型建立	(26)
2.2.2 等效系统频域拟配计算方法	(27)
2.3 等效系统模型	(27)
2.3.1 纵向模型	(27)
2.3.2 横航向模型	(31)
2.4 等效系统频域拟配方法	(40)
2.4.1 高精度时频变换	(40)
2.4.2 频域拟配算法	(43)
2.4.3 时域拟配方法	(45)
2.5 等效系统拟配软件设计	(50)
2.5.1 软件流程设计	(50)
2.5.2 软件算例	(50)
第3章 虚拟飞行试验	(58)
3.1 概论	(58)
3.2 为什么飞行模拟今天比过去更重要	(60)
3.2.1 虚拟飞行试验技术产生的背景	(60)
3.2.2 飞行模拟相关技术的发展	(61)
3.3 定义	(61)
3.4 虚拟飞行试验方法的特点	(63)
3.5 虚拟飞行试验的类型	(65)
3.6 虚拟飞行试验的实例	(66)
3.6.1 德国 EADS 试飞中心的虚拟飞行试验	(66)
3.6.2 飞行仿真测试系统 (FETS)	(67)
3.6.3 STISIM 飞行模拟器	(68)
3.6.4 新型空中试车台	(70)
3.7 虚拟飞行试验的今后发展	(71)
3.7.1 试验设备和设施	(71)
3.7.2 飞行模拟器	(71)
3.7.3 变稳机和试验机	(72)
3.7.4 航空专业的虚拟飞行试验	(72)
3.7.5 试验科目	(72)
3.8 虚拟飞行试验系统的设计	(73)
第4章 机/尾翼应变计载荷校准技术	(75)
4.1 概论	(75)
4.2 结构对象	(75)

4.3 飞机结构的校准案例	(82)
4.3.1 YF-12 机翼	(82)
4.3.2 超临界机翼	(84)
4.4 试验设计	(90)
4.4.1 应变计安装位置	(90)
4.4.2 加载点选择	(91)
4.4.3 载荷方程中应变计电桥的数量	(91)
4.4.4 载荷方程推导	(91)
4.4.5 自动选择应变计电桥	(91)
4.4.6 载荷校准的加面总面比和载荷测量误差	(92)
4.4.7 点载荷校准和分布载荷校准	(93)
4.4.8 平面形状展弦比	(93)
4.4.9 响应系数图	(93)
4.4.10 根部的局部影响	(94)
4.4.11 计算应变	(95)
第5章 热载荷与热强度试飞技术	(99)
5.1 概论	(99)
5.2 测试系统设计	(99)
5.3 加热技术	(100)
5.4 样本固定和边界条件模拟	(101)
5.5 温度测量	(101)
5.6 高温应变测量	(101)
5.7 热结构无损检测	(102)
5.8 YF-12A 飞机热载荷测量评价	(102)
5.8.1 YF-12A 飞机载荷测量构思	(103)
5.8.2 YF-12A 飞机热载荷校准	(103)
5.8.3 加热 YF-12A 飞机	(103)
5.8.4 YF-12A 载荷校准	(105)
5.8.5 热载荷和变形	(105)
5.8.6 结论	(106)
第6章 飞机结构载荷/环境谱测量和编制技术	(107)
6.1 概论	(107)
6.2 飞机飞行载荷谱实测	(109)
6.2.1 确定实测典型任务剖面	(109)
6.2.2 确定实测参数	(110)
6.2.3 试验飞机改装	(113)

6.2.4 飞行试验	(114)
第7章 飞机结构耐久性严重使用载荷谱编制技术	(116)
7.1 概论	(116)
7.2 严重谱含义	(116)
7.2.1 载荷谱的统计分析特点	(116)
7.2.2 载荷谱的分散性	(117)
7.2.3 严重谱概念	(117)
7.2.4 严重谱的表示方法	(118)
7.3 编制严重谱的原始数据	(118)
7.3.1 编制严重谱所需数据	(118)
7.3.2 数据来源	(118)
7.4 严重谱编制方法	(119)
7.4.1 方法概述	(120)
7.4.2 搜集编谱原始数据	(120)
7.4.3 曲线拟合	(120)
7.4.4 计算平均值和标准差	(122)
7.4.5 计算置信度谱	(123)
7.4.6 检验谱的分布	(128)
第8章 飞机结构健康监测	(133)
8.1 概论	(133)
8.2 飞机结构的使用寿命的分散性	(133)
8.3 单机寿命监控	(134)
8.4 飞机结构健康状况	(135)
8.5 飞机结构健康监测技术发展概况	(136)
8.6 飞机结构健康监测技术研究方向	(138)
8.7 结束语	(141)
第9章 航空器颤振飞行试验	(142)
9.1 概论	(142)
9.2 激励技术	(142)
9.2.1 脉冲激励	(143)
9.2.2 扫频激励	(143)
9.2.3 突发—衰减激励	(145)
9.2.4 火箭激励	(145)
9.2.5 大气湍流激励	(145)
9.3 试飞方法	(145)

9.4 数据事后处理	(147)
9.5 外挂颤振试验	(148)
9.6 原则	(148)
第 10 章 抖振试飞技术	(150)
10.1 概论	(150)
10.2 F-22 飞机双垂尾抖振飞行试验	(150)
10.2.1 飞行试验方法	(150)
10.2.2 飞行试验结果	(151)
10.3 F-18 飞机抖振飞行试验	(152)
10.3.1 飞行试验方法	(152)
10.3.2 飞行试验结果	(153)
10.4 F-16 飞机垂尾抖振减缓飞行试验	(155)
第 11 章 气动伺服弹性试飞新技术	(158)
11.1 概论	(158)
11.2 控制理论	(159)
11.2.1 基本概念	(160)
11.2.2 补偿 (compensation)	(161)
11.3 表示方法	(162)
11.3.1 根轨迹	(162)
11.3.2 伯德图	(163)
11.3.3 奈奎斯特图和极点图	(164)
11.4 分析	(165)
11.5 地面试验	(166)
11.6 飞行试验	(168)
第 12 章 航空器振动声学研究	(170)
12.1 概论	(170)
12.2 一般振动	(171)
12.3 声学基础	(171)
12.4 声的测量	(173)
12.5 飞行试验	(175)
12.5.1 初期地面试验	(176)
12.5.2 测试理念	(176)
12.5.3 数据分析	(177)

第 13 章 航空推力矢量发动机飞行试验	(179)
13.1 概论	(179)
13.2 推力矢量关键技术	(180)
13.3 推力矢量控制技术的演示验证	(180)
13.3.1 F-15 STOL/MTD (F-15 S/MTD) 验证机	(181)
13.3.2 F-15 ACTIVE (先进综合控制技术) 验证机	(184)
13.3.3 F-18 HARV (大迎角气动特性) 验证机	(187)
13.3.4 X-31 EFMD (增强战斗机机动性验证机)	(191)
13.4 推力矢量发动机的飞行试验验证总体思路	(198)
13.4.1 飞行台试飞初步研究	(199)
13.4.2 推力矢量研究机验证	(204)
13.5 推力矢量发动机关键技术试飞	(208)
13.5.1 尾喷管偏转试飞技术	(208)
13.5.2 飞机—推进综合控制技术 (IFPC)	(212)
13.5.3 短距起飞/着陆试验	(214)
13.5.4 机动飞行试验	(216)
13.5.5 FADEC 及 PHM 技术	(217)
第 14 章 超燃冲压推进系统飞行试验	(220)
14.1 概论	(220)
14.1.1 超燃冲压发动机与传统航空发动机	(220)
14.1.2 亚燃冲压发动机与超燃冲压发动机	(221)
14.2 超燃冲压发动机原理	(224)
14.3 超燃冲压推进系统的飞行试验	(227)
14.3.1 超燃冲压推进系统飞行试验特点	(228)
14.3.2 飞行试验系统	(229)
14.3.3 飞行试验要求	(230)
14.3.4 飞行试验技术	(230)
14.4 超燃冲压推进系统飞行试验内容	(233)
14.4.1 推进系统性能确定	(233)
14.4.2 发动机控制系统	(234)
14.4.3 纵向控制器	(237)
14.4.4 横向控制器	(238)
14.5 试验过程及试验方案验证	(238)
14.5.1 级间分离控制逻辑	(239)
14.5.2 级间分离准备工作	(241)
14.6 分析及预测设计工具的验证	(243)

14.7 飞行试验前子部件特性试验	(244)
14.7.1 前体压缩面试验验证	(244)
14.7.2 进气道部件试验	(244)
14.7.3 燃烧室部件试验	(244)
14.7.4 热防护部件试验	(245)
14.8 飞行试验规划及实施	(245)
14.8.1 参数测量方案	(246)
14.8.2 超燃冲压发动机飞行试验参数测量	(247)
14.8.3 测试需求及技术准备	(249)
14.8.4 数据系统工作环境	(250)
14.8.5 边界层转捩	(250)
14.8.6 大气参数测试方法	(251)
14.8.7 数据采集	(253)
14.9 参数测量方法	(253)
14.9.1 内流流场测试	(253)
14.9.2 大气数据采集	(254)
14.9.3 边界层转换测量	(255)
14.9.4 新型测量方式	(257)
14.9.5 状态参数的精度要求	(257)
14.10 飞行轨迹	(258)
14.11 飞行过程控制	(259)
14.11.1 推进系统控制	(259)
14.11.2 各飞行阶段控制及过程衔接	(260)
14.11.3 飞行姿态控制	(261)
14.11.4 风险评估	(261)
14.12 飞行试验实施方法	(262)
14.12.1 飞行过程监控	(262)
14.12.2 数据传输与储存	(262)
14.12.3 级间分离	(264)
14.13 飞行试验的安全控制	(265)
14.13.1 高超声速飞行器热防护	(265)
14.13.2 被动式热防护技术	(266)
14.13.3 半被动式热防护技术	(267)
14.14 测试设备	(267)
14.14.1 气动加热的地面模拟及测量	(267)
14.14.2 稳态热流率测量原理	(268)
14.14.3 模型表面辐射热流率测量方法	(269)
14.14.4 穿过模型的传导热流率测量方法	(269)

第 15 章 航空雷达试飞技术	(270)
15.1 概论	(270)
15.2 相控阵雷达分类	(270)
15.3 相控阵雷达系统构成	(271)
15.4 雷达工作基本原理	(271)
15.4.1 电磁环境下的综合感知能力	(272)
15.4.2 低截获概率技术	(272)
15.4.3 操作战术	(273)
15.4.4 设计的对策	(273)
15.4.5 增强的 LPI 设计技术	(273)
15.4.6 LPI 的代价	(274)
15.4.7 目标识别技术	(274)
15.5 试飞技术和方法	(275)
15.5.1 复杂电磁环境构建及试飞任务剖面建立	(275)
15.5.2 测试参数采集	(276)
15.6 鉴定程序和评估	(276)
15.6.1 确定各分指标的权重	(277)
15.6.2 建立多级评估模型	(277)
第 16 章 体系作战能力试飞技术	(278)
16.1 概论	(278)
16.2 体系的概念	(278)
16.2.1 体系的存在与现象	(278)
16.2.2 体系的理解与认识	(279)
16.2.3 体系的典型定义	(279)
16.2.4 体系对抗的概念	(281)
16.2.5 体系作战能力的概念	(282)
16.3 体系作战能力试飞研究的意义	(282)
16.3.1 体系作战能力研究的不足	(282)
16.3.2 体系对抗是信息化战争的基本对抗形式	(283)
16.3.3 体系作战能力试飞研究的内容	(283)
16.4 试飞对象分类和系统构成	(285)
16.4.1 通信能力	(285)
16.4.2 导航能力	(285)
16.4.3 雷达探测识别能力	(286)
16.4.4 光电探测能力	(286)
16.4.5 射频无源探测能力	(286)

16.4.6 攻击能力	(286)
16.5 基本原理	(286)
16.5.1 体系作战能力分析和评价方法	(287)
16.5.2 评估方法的优劣分析	(290)
16.6 复杂电磁环境下武器装备作战能力试飞研究	(291)
16.7 雷达作战能力	(292)
16.7.1 雷达工作面临的复杂电磁环境	(292)
16.7.2 复杂电磁环境对雷达作战能力的影响	(293)
16.7.3 应对措施	(295)
第17章 机载电子对抗系统	(297)
17.1 概论	(297)
17.2 电子战的分类	(299)
17.3 机载电子战系统构成	(300)
17.4 雷达侦察原理	(301)
17.5 雷达告警原理	(301)
17.5.1 雷达告警特点及用途	(301)
17.5.2 雷达告警设备组成及基本原理	(302)
17.6 无源定位原理	(303)
17.6.1 无源定位特点及用途	(303)
17.6.2 无源定位组成及基本原理	(304)
17.7 有源干扰原理	(304)
17.7.1 有源干扰特点及用途	(304)
17.7.2 有源干扰分类	(305)
17.7.3 有源干扰系统组成及原理	(306)
17.8 无源干扰原理	(306)
17.9 总体试飞技术和方法	(307)
17.10 有源拖曳式诱饵试飞技术探讨	(310)
17.11 与雷达孔径综合试飞技术	(310)
17.12 鉴定程序和评估	(311)
17.12.1 载机测试	(311)
17.12.2 地面雷达测试	(311)
17.12.3 数据分析和评估	(311)
第18章 空地一体化试飞	(312)
18.1 概论	(312)
18.2 空地一体化影子试飞	(314)
18.3 空地一体化虚拟试飞	(314)