

# 电子设备测试性 及诊断技术

曾天翔 主编



航空工业出版社

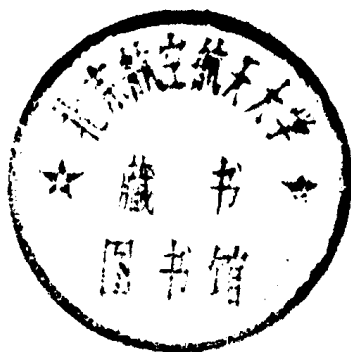
V243  
23

32714105

# 电子设备测试性及诊断技术

主 编 曾天翔

副主编 王 勇



HK51/11

航空工业出版社



C0336553

## 内 容 提 要

测试性(Testability)是电子设备的一种重要设计特性。测试性与可靠性、维修性密切相关,测试性好,就易于保障电子系统可靠的工作,就会使系统便于维修。

本书阐述了测试性及诊断技术的理论,介绍了测试性参数选择及指标确定,测试性分析、设计和验证等各种技术和方法,给出了机内测试及诊断技术在飞机上应用的示例。

本书可供有关专业的工程技术人员和大专院校师生使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

电子设备测试性及诊断技术/曾天翔主编,王勇副主编. —北京:航空工业出版社,1996. 12

ISBN 7-80046-817-8

I. 电… II. ①曾… ②王… III. 电子设备-测试技术 IV. TN06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 10532 号

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)

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经售

1996年12月第1版

1996年12月第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:28 字数:697千字

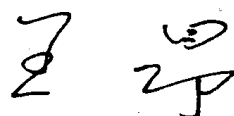
印数:1—3000

定价:35.00元

# 序

现代军用装备及各种大型复杂系统,特别是军、民用飞机的使用性能在很大程度上依赖于电子设备的性能,军用航空电子设备的故障数约占全机故障总数的40%以上,设备维修工时占1/3左右。现代电子设备的测试问题已成为影响飞机或复杂系统维修的关键,某些采用超高速集成电路的现代航空电子设备的故障检测时间要比采用晶体管及普通集成电路的设备高出几个数量级。因此,电子设备的测试问题应引起人们足够的重视,要把测试性作为现代电子设备特别是航空电子设备的一种重要设计特性,从设计一开始就加以考虑。测试性不仅对改善军用飞机的战备完好性,提高民用飞机的出勤可靠度起着重要的作用,而且对军、民用飞机的使用及保障费用也产生重要影响,已成为现代军、民用飞机设计必须满足的重要要求之一。

测试性是70年代后期兴起的一门新兴学科,近几年来,我国已开始这一学科的研究,取得了一些成果。我国某些飞机及机载航空电子设备的研制已把测试性作为一项设计要求写入研制任务书,并开展了测试性设计。《电子设备测试性及诊断技术》一书的出版,吸取了国内外测试性技术的某些研究成果,全面介绍了测试性的分析、设计及验证的各种技术及方法,对在我国普及测试性技术,推动测试性技术的发展将起到积极的作用。



1995年3月

# 《电子设备测试性及诊断技术》

## 编委会组成人员

主 任 阎治孝

副主任 朱筱云

委 员 (按姓氏笔划为序)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王七星 | 王 勇 | 田 仲 | 苏士安 | 张宝珍 | 张钟林 |
| 陈灌军 | 周训文 | 盛显业 | 梁 恺 | 曾天翔 | 魏子山 |

主 编 曾天翔

副主编 王 勇

主 审 阎治孝

副主审 张钟林

# 前 言

测试性(Testability)是电子设备的一种重要的设计特性。它对现代武器系统及各种复杂系统,特别是航空电子系统的可用性及寿命周期费用有着重大的影响。测试性与可靠性及维修性密切相关,对具有良好测试性的设备可以及时、快速地发现并确定其存在的故障,提高系统的任务可靠性及安全性;还可以缩短故障检测和隔离时间,进而缩短维修时间,提高系统的可用性,减少系统的使用和保障费用。

数字技术及各种超大规模集成电路的广泛应用,在改善现代复杂武器系统特别是航空武器系统性能的同时,给武器系统带来了严重的测试和保障问题——测试时间长、使用和保障费用高。现役武器系统存在的测试问题已严重地影响武器系统的战备完好性和寿命周期费用,引起了美、英等国有关部门的重视。80年代以来,测试性及诊断技术得到了迅速发展,美国国防部及工业界广泛开展研究,发表了大量的研究报告及论文,颁发了一系列军用标准并在武器系统型号研制中贯彻实施这些标准,逐步形成一门与可靠性、维修性并行发展的学科。

测试性研究是一门新兴的学科,我国正处于起步阶段,本书是在吸收了国内近几年来的某些研究成果并参考80年代以来国外发表的标准、研究报告、图书及论文的基础上编写的。它全面阐述了测试性及诊断技术的发展;系统介绍了测试性参数选择及指标确定,测试性分析、设计和验证等各种技术及方法;详细给出了机内测试(BIT)及诊断技术在国外军、民用飞机上应用的示例。值得指出的是,本书所介绍的各种技术及方法不仅可用于电子设备,也可应用于各种机电系统及设备,特别是各种机载系统及设备。

本书是一本全面论述电子设备测试性的著作,它的编写考虑到我国新一代电子设备特别是航空电子设备研制的需要,注意科学性和实用性,力求结合国情,从工程实用的观点出发,选取各种模型、技术及方法,并给出应用示例和各种图表、数据。我们希望它能成为工程技术和管理人员在开展型号设计及管理工作中,贯彻测试性军用标准的主要参考书,同时为从事测试性及诊断技术研究的人员提供参考。

本书由原航空航天工业部机载设备局提出任务,中国航空信息中心负责,北京航空航天大学参加编写。执笔者为:第1篇第1、2章曾天翔,第3章王七星、曾天翔,第4章张宝珍、田仲,第5章周训文、梁恺,第6、7章魏子山;第2篇第8章曾天翔,第9章曾天翔、张宝珍、魏子山、周训文,第10章魏子山、张宝珍。

在本书的编写过程中,中国航空信息中心研究部许伟武研究员对某些章节进行了审阅,中国航空工业总公司综合技术研究所可靠性与环境室林典伦同志提供了不少有益的资料,在此表示感谢。

**编 者**

1995年4月

# 目 录

## 第 1 篇 测试性分析、设计及验证技术

### 第 1 章 绪论

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1.1 测试性及诊断技术的发展 .....          | 1  |
| 1.1.1 测试性成为一门独立的学科 .....       | 1  |
| 1.1.2 综合诊断、人工智能及 CAD 的应用 ..... | 1  |
| 1.2 测试性与诊断的基本概念 .....          | 2  |
| 1.2.1 测试、测试技术和测试性 .....        | 2  |
| 1.2.2 诊断、诊断技术、诊断能力和综合诊断 .....  | 3  |
| 1.2.3 机内测试、机内测试设备和自动测试设备 ..... | 3  |
| 1.3 现役武器系统存在的测试性和诊断问题 .....    | 4  |
| 1.3.1 使用中暴露的问题 .....           | 4  |
| 1.3.2 研制中存在的问题 .....           | 5  |
| 1.4 测试性及诊断对武器系统的影响 .....       | 6  |
| 1.4.1 对战备完好性的影响 .....          | 6  |
| 1.4.2 对任务成功性的影响 .....          | 8  |
| 1.4.3 对寿命周期费用及维修人力的影响 .....    | 10 |
| 1.5 综合诊断技术 .....               | 12 |
| 1.5.1 综合诊断的目标及方法 .....         | 12 |
| 1.5.2 综合诊断的实施 .....            | 12 |
| 1.6 人工智能技术的应用 .....            | 14 |
| 1.7 测试性与诊断常用术语 .....           | 17 |
| 参考文献 .....                     | 19 |

### 第 2 章 型号研制及生产中的测试性工作

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 2.1 测试性工作的目标、流程和接口 .....   | 20 |
| 2.2 型号研制各阶段中的测试性工作 .....   | 23 |
| 2.2.1 论证阶段 .....           | 23 |
| 2.2.2 方案阶段 .....           | 25 |
| 2.2.3 工程研制(含设计定型)阶段 .....  | 28 |
| 2.2.4 生产(含生产定型)及部署阶段 ..... | 30 |
| 2.3 产品的测试性设计及分析 .....      | 30 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 2.3.1 测试设计的权衡         | 30 |
| 2.3.2 测试性设计的一般问题      | 31 |
| 2.3.3 被测单元与自动测试设备的兼容性 | 32 |
| 2.3.4 机内测试            | 32 |
| 2.3.5 机内测试软件          | 33 |
| 2.3.6 系统级机内测试         | 33 |
| 2.3.7 测试性度量的应用        | 34 |
| 2.3.8 故障模拟            | 35 |
| 2.3.9 测试性分析报告         | 36 |
| 参考文献                  | 36 |

### 第3章 测试性参数和指标

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 3.1 概述                    | 38 |
| 3.2 测试性参数定义及分析            | 38 |
| 3.2.1 故障检测率(FDR)          | 40 |
| 3.2.1.1 FDR 定义            | 40 |
| 3.2.1.2 关于 FDR 定义的几点说明    | 40 |
| 3.2.2 关键故障检测率(CFDR)       | 41 |
| 3.2.3 故障隔离率(FIR)          | 42 |
| 3.2.3.1 FIR 定义            | 42 |
| 3.2.3.2 关于 FIR 定义的几点说明    | 42 |
| 3.2.4 虚警率(FAR)            | 44 |
| 3.2.4.1 FAR 定义            | 44 |
| 3.2.4.2 关于 FAR 定义的几点说明    | 44 |
| 3.2.5 故障检测时间(FDT)         | 45 |
| 3.2.6 故障隔离时间(FIT)         | 45 |
| 3.2.7 测试有效性               | 46 |
| 3.2.8 不能复现率(CNDR)         | 46 |
| 3.2.9 台检可工作率(BCSR)        | 47 |
| 3.2.10 重测合格率(RTOKR)       | 47 |
| 3.2.11 误拆率(FFP)           | 47 |
| 3.2.12 BIT 可靠性            | 47 |
| 3.2.13 BIT 维修性            | 48 |
| 3.2.14 平均 BIT/ETE 运行时间    | 48 |
| 3.2.15 虚警与 CND 及 RTOK 的关系 | 48 |
| 3.3 测试性参数的选择              | 49 |
| 3.3.1 确定并列出与测试性有关的 RMA 要求 | 50 |
| 3.3.2 列出与要求有关的参数          | 51 |
| 3.3.3 综合权衡,优选测试性参数        | 51 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 3.4 测试性指标的确定                | 53 |
| 3.4.1 测试性指标确定时的考虑因素         | 54 |
| 3.4.1.1 确定 FDR 要求时的考虑因素     | 54 |
| 3.4.1.2 确定 FIR 要求时的考虑因素     | 54 |
| 3.4.1.3 确定 FAR 要求时的考虑因素     | 55 |
| 3.4.2 测试性指标确定的一般程序          | 55 |
| 3.4.3 典型的测试性指标要求值           | 56 |
| 3.4.4 典型的测试性参数及指标示例         | 57 |
| 3.4.4.1 一种歼击机火控系统的测试性参数及指标  | 57 |
| 3.4.4.2 F-16 战斗机的测试性参数及指标   | 59 |
| 3.4.4.3 F/A-18 战斗机的测试性参数及指标 | 60 |
| 参考文献                        | 61 |

## 第4章 测试性分配和预计

|                        |    |
|------------------------|----|
| 4.1 概述                 | 62 |
| 4.2 测试性分配方法            | 64 |
| 4.2.1 按系统复杂程度分配法       | 64 |
| 4.2.2 加权分配法            | 66 |
| 4.2.3 新老产品组合分配法        | 68 |
| 4.2.4 优化分配法            | 69 |
| 4.2.4.1 优化分配问题的数学模型    | 69 |
| 4.2.4.2 解法介绍           | 69 |
| 4.2.4.3 算法及步骤          | 71 |
| 4.2.4.4 目标函数和约束函数的选择   | 71 |
| 4.2.4.5 应用举例(航空电子系统)   | 76 |
| 4.2.5 补充说明             | 79 |
| 4.3 测试性预计方法            | 80 |
| 4.3.1 BIT 有效性预计        | 80 |
| 4.3.1.1 BIT 预计的主要步骤    | 80 |
| 4.3.1.2 BIT 预计工作单填写说明  | 81 |
| 4.3.2 系统测试性预计          | 82 |
| 4.3.2.1 预计的主要步骤        | 82 |
| 4.3.2.2 系统测试性预计工作单填写说明 | 83 |
| 4.3.3 LRU 测试性预计        | 83 |
| 4.3.4 SRU 测试性分析预计      | 84 |
| 4.3.5 外场级测试性预计         | 84 |
| 4.3.5.1 测试性预计参数及其替代参数  | 84 |
| 4.3.5.2 分类模型           | 87 |
| 4.3.5.3 数据分析           | 89 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 4.3.5.4 预计方程的最终形式····· | 89 |
| 4.3.5.5 总结·····        | 93 |
| 参考文献 ·····             | 94 |

## 第5章 测试性分析

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 5.1 概述·····                         | 95  |
| 5.2 测试性权衡分析·····                    | 95  |
| 5.2.1 测试性与其他特性的关系·····              | 96  |
| 5.2.2 诊断技术权衡·····                   | 97  |
| 5.2.2.1 诊断的重要性·····                 | 97  |
| 5.2.2.2 诊断技术类型·····                 | 98  |
| 5.2.2.3 手工测试与自动测试的权衡 ·····          | 101 |
| 5.2.2.4 BITE 与 ATE 的权衡 ·····        | 103 |
| 5.2.2.5 硬件诊断与软件诊断 BITE 的权衡 ·····    | 104 |
| 5.2.3 BIT 寿命周期费用权衡 ·····            | 105 |
| 5.2.3.1 增加的 RDT&E 费用( $C_1$ ) ····· | 105 |
| 5.2.3.2 增加的采购费( $C_2$ ) ·····       | 105 |
| 5.2.3.3 增加的使用保障费( $C_3$ ) ·····     | 107 |
| 5.2.3.4 增加的可用性费用( $C_4$ ) ·····     | 107 |
| 5.2.3.5 增加的飞行负担费( $C_5$ ) ·····     | 108 |
| 5.2.4 实例 ·····                      | 108 |
| 5.3 系统测试性分析 ·····                   | 110 |
| 5.3.1 测试性分析基本流程 ·····               | 110 |
| 5.3.1.1 概述 ·····                    | 110 |
| 5.3.1.2 测试性分析输入数据 ·····             | 111 |
| 5.3.1.3 分析过程 ·····                  | 112 |
| 5.3.1.4 分析的输出数据 ·····               | 112 |
| 5.3.2 系统测试性分析的实施 ·····              | 113 |
| 5.3.2.1 分析方法和步骤 ·····               | 113 |
| 5.3.2.2 测试性分析报告 ·····               | 115 |
| 5.3.3 分析示例 ·····                    | 116 |
| 5.3.3.1 军用飞机环境控制系统测试性分析的基本流程 ·····  | 116 |
| 5.3.3.2 书写分析报告 ·····                | 118 |
| 5.4 LRU/SRU 测试性分析 ·····             | 121 |
| 5.4.1 LRU 测试性分析·····                | 121 |
| 5.4.1.1 概要 ·····                    | 121 |
| 5.4.1.2 LRU 测试性分析的实施·····           | 121 |
| 5.4.2 SRU 测试性分析 ·····               | 122 |
| 5.4.3 分析示例 ·····                    | 123 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 5.5 固有测试性分析 .....            | 126 |
| 5.6 BIT 分析 .....             | 128 |
| 5.6.1 概述 .....               | 128 |
| 5.6.2 BIT 数据报告准备 .....       | 129 |
| 5.6.3 BIT 分析报告准备 .....       | 131 |
| 5.6.3.1 输入数据 .....           | 131 |
| 5.6.3.2 输入数据处理 .....         | 132 |
| 5.6.3.3 定量分析 .....           | 132 |
| 5.7 测试容差和虚警分析 .....          | 135 |
| 5.7.1 测试容差的确定 .....          | 135 |
| 5.7.1.1 确定容差的下限和上限 .....     | 135 |
| 5.7.1.2 确定各级测试的容差 .....      | 136 |
| 5.7.1.3 BIT 和测试设备的测量精度 ..... | 136 |
| 5.7.2 虚警分析 .....             | 136 |
| 5.7.2.1 虚警的影响 .....          | 137 |
| 5.7.2.2 虚警的原因 .....          | 137 |
| 5.7.2.3 减少虚警的方法 .....        | 138 |
| 参考文献 .....                   | 139 |

## 第6章 测试性设计

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 6.1 概述 .....                  | 141 |
| 6.2 测试性设计一般要求 .....           | 142 |
| 6.2.1 测试性和 BIT 设计准则 .....     | 142 |
| 6.2.1.1 结构设计(用于电子功能) .....    | 142 |
| 6.2.1.2 划分(用于电子功能) .....      | 143 |
| 6.2.1.3 测试控制 .....            | 143 |
| 6.2.1.4 测试通路 .....            | 144 |
| 6.2.1.5 元器件选择 .....           | 144 |
| 6.2.1.6 模拟电路设计 .....          | 144 |
| 6.2.1.7 射频(RF)电路设计 .....      | 145 |
| 6.2.1.8 电光(E0)设备设计 .....      | 145 |
| 6.2.1.9 数字电路设计 .....          | 146 |
| 6.2.1.10 机内测试(BIT) .....      | 146 |
| 6.2.1.11 性能监控 .....           | 147 |
| 6.2.1.12 机械系统状态监控(MSCM) ..... | 147 |
| 6.2.1.13 传感器 .....            | 147 |
| 6.2.1.14 诊断能力综合 .....         | 147 |
| 6.2.1.15 测试要求 .....           | 147 |
| 6.2.1.16 测试数据 .....           | 148 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 6.2.1.17 维修级别          | 148 |
| 6.2.2 联机与脱机测试要求        | 148 |
| 6.2.3 数字电路测试要求         | 148 |
| 6.2.4 模拟电路测试要求         | 149 |
| 6.2.5 集成电路和微处理机要求      | 150 |
| 6.2.6 测试及维修(TM)总线的要求   | 150 |
| 6.2.7 容差要求             | 151 |
| 6.2.8 传感器的要求           | 151 |
| 6.2.9 指示器的要求           | 152 |
| 6.2.10 初始化要求           | 152 |
| 6.2.11 测试可控性的要求        | 152 |
| 6.2.12 测试可观察性的要求       | 153 |
| 6.2.13 兼容性的要求          | 153 |
| 6.2.14 连接器的要求          | 154 |
| 6.3 常用的测试性设计技术         | 155 |
| 6.3.1 扫描技术             | 155 |
| 6.3.1.1 扫描通道           | 155 |
| 6.3.1.2 电平敏感扫描设计(LSSD) | 156 |
| 6.3.1.3 扫描集            | 157 |
| 6.3.1.4 随机存取扫描         | 158 |
| 6.3.1.5 边界扫描           | 159 |
| 6.3.1.6 扫描技术的适用范围      | 160 |
| 6.3.2 特征分析             | 160 |
| 6.3.2.1 激励生成           | 160 |
| 6.3.2.2 特征开发           | 163 |
| 6.3.2.3 特征分析及 TM 总线    | 164 |
| 6.3.2.4 适用范围           | 165 |
| 6.3.3 环绕技术             | 165 |
| 6.3.3.1 芯片、ROM、RAM 测试  | 166 |
| 6.3.3.2 处理机控制的选通       | 167 |
| 6.3.3.3 适用范围           | 167 |
| 6.3.4 模拟技术             | 167 |
| 6.3.4.1 主动与被动          | 168 |
| 6.3.4.2 变换成数字形式        | 168 |
| 6.3.4.3 适用范围           | 168 |
| 6.3.5 并行技术             | 168 |
| 6.3.5.1 容错设计           | 169 |
| 6.3.5.2 适用范围           | 171 |
| 6.3.6 电子产品的模块划分        | 171 |

|         |                            |     |
|---------|----------------------------|-----|
| 6.3.6.1 | 在设备级划分 .....               | 171 |
| 6.3.6.2 | 在组件级划分 .....               | 173 |
| 6.3.7   | 测试点 .....                  | 174 |
| 6.3.7.1 | 测试点的类型 .....               | 174 |
| 6.3.7.2 | 测试点的特性 .....               | 175 |
| 6.3.7.3 | 多路传输方法 .....               | 176 |
| 6.3.7.4 | 测试点的选择 .....               | 177 |
| 6.3.7.5 | 数字式电子设备中测试点应用举例 .....      | 179 |
| 6.3.8   | 测试探头 .....                 | 187 |
| 6.3.9   | 改善 I/O 透明性 .....           | 188 |
| 6.3.10  | 故障特征与故障字典 .....            | 189 |
| 6.3.11  | 导向探头及夹子 .....              | 189 |
| 6.4     | 系统及分系统测试性设计指南 .....        | 190 |
| 6.4.1   | 制定测试性计划 .....              | 190 |
| 6.4.1.1 | 测试性目标 .....                | 190 |
| 6.4.1.2 | 系统测试性要求及规范 .....           | 190 |
| 6.4.2   | 测试性要求 .....                | 190 |
| 6.4.2.1 | 系统工程过程 .....               | 191 |
| 6.4.2.2 | 与性能有关的要求 .....             | 192 |
| 6.4.2.3 | 测试分级及 BIT 的有效性 .....       | 192 |
| 6.4.2.4 | 验证计划 .....                 | 192 |
| 6.4.3   | 测试性计划指南 .....              | 192 |
| 6.4.4   | 系统测试性设计 .....              | 192 |
| 6.4.4.1 | 连接和电缆的铺设 .....             | 192 |
| 6.4.4.2 | 电源 .....                   | 193 |
| 6.4.4.3 | 计算机、控制器连接总线和软件 .....       | 193 |
| 6.4.4.4 | 系统测试点 .....                | 193 |
| 6.4.4.5 | 机械设计 .....                 | 193 |
| 6.4.4.6 | 系统安全性考虑 .....              | 194 |
| 6.4.4.7 | 其他测试性设计要求 .....            | 194 |
| 6.5     | 系统及分系统 BIT 指南 .....        | 195 |
| 6.5.1   | 三级维修和二级维修 .....            | 195 |
| 6.5.1.1 | 外场级维修 .....                | 195 |
| 6.5.1.2 | 后方级维修 .....                | 195 |
| 6.5.1.3 | 采用 BIT/BITE 所付出的代价 .....   | 195 |
| 6.5.2   | 系统自测试 .....                | 195 |
| 6.5.3   | 系统 BITE 的功能特性 .....        | 195 |
| 6.5.4   | 系统 BIT 功能特性 .....          | 195 |
| 6.5.5   | 系统 BITE/BIT 软件与硬件的权衡 ..... | 196 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 6.5.5.1 软件 BIT 的优点 .....        | 196 |
| 6.5.5.2 硬件 BIT 的优点 .....        | 196 |
| 6.5.6 联机(主动和被动)与脱机 BIT .....    | 196 |
| 6.5.6.1 联机 BIT(主动的和被动的) .....   | 196 |
| 6.5.6.2 脱机 BIT .....            | 196 |
| 6.5.7 BITE/BIT 设计考虑及建议 .....    | 196 |
| 6.5.7.1 最佳的系统 BIT 设计 .....      | 196 |
| 6.5.7.2 虚警率考虑 .....             | 197 |
| 6.5.7.3 灵巧 BIT .....            | 197 |
| 6.5.8 系统 BIT 通用设计指南 .....       | 198 |
| 6.6 模块测试性设计指南 .....             | 200 |
| 6.6.1 电气设计指南 .....              | 200 |
| 6.6.1.1 反馈回路 .....              | 200 |
| 6.6.1.2 顺序器件 .....              | 200 |
| 6.6.1.3 复杂信号 .....              | 200 |
| 6.6.1.4 测试点 .....               | 200 |
| 6.6.1.5 余度电路 .....              | 200 |
| 6.6.1.6 其他考虑 .....              | 201 |
| 6.6.2 机械设计指南 .....              | 201 |
| 6.6.2.1 部件的修理 .....             | 201 |
| 6.6.2.2 部件走向和标志 .....           | 201 |
| 6.6.2.3 连接器 .....               | 201 |
| 6.6.3 节点访问 .....                | 201 |
| 6.6.4 模块识别电阻 .....              | 201 |
| 6.6.5 其他 .....                  | 201 |
| 6.7 模块 BIT/BITE .....           | 202 |
| 6.7.1 通用的 BIT 技术 .....          | 202 |
| 6.7.1.1 余度 .....                | 202 |
| 6.7.1.2 环绕技术 .....              | 202 |
| 6.7.1.3 BIT 通用测试性设计准则 .....     | 202 |
| 6.7.2 数字 BIT .....              | 203 |
| 6.7.2.1 VLSI 芯片 BIT 的单板综合 ..... | 203 |
| 6.7.2.2 特征分析 .....              | 203 |
| 6.7.2.3 机内逻辑块观察(BILBO) .....    | 204 |
| 6.7.2.4 编码图 .....               | 205 |
| 6.7.3 模拟 BIT 技术 .....           | 205 |
| 6.7.3.1 电压求和 .....              | 206 |
| 6.7.3.2 比较器 .....               | 206 |
| 参考文献 .....                      | 206 |

## 第7章 测试性验证

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 7.1 概述 .....                  | 208 |
| 7.2 测试性验证的内容及时机 .....         | 208 |
| 7.3 测试性验证的程序及管理 .....         | 209 |
| 7.3.1 野战级验证 .....             | 209 |
| 7.3.1.1 确定测试性验证要求 .....       | 210 |
| 7.3.1.2 选择测试性验证方案 .....       | 210 |
| 7.3.1.3 制定测试性验证计划 .....       | 211 |
| 7.3.1.4 验证试验前的准备工作 .....      | 211 |
| 7.3.1.5 故障注入方法 .....          | 212 |
| 7.3.1.6 实施测试性验证试验 .....       | 212 |
| 7.3.1.7 试验数据的记录 .....         | 213 |
| 7.3.1.8 改进设计及重复试验 .....       | 217 |
| 7.3.1.9 编写测试性验证试验报告 .....     | 217 |
| 7.4 测试性验证方案的制定 .....          | 217 |
| 7.4.1 方法1 .....               | 217 |
| 7.4.1.1 FDR、FIR、FAR 的验证 ..... | 217 |
| 7.4.1.2 验证举例 .....            | 220 |
| 7.4.2 方法2 .....               | 220 |
| 7.4.2.1 检测率等参数的验证方案的确定 .....  | 220 |
| 7.4.2.2 模糊度验证 .....           | 220 |
| 7.5 虚警率的验证 .....              | 221 |
| 附录1 测试性验证试验方案表(1) .....       | 223 |
| 附录2 测试性验证试验方案表(2) .....       | 244 |
| 参考文献 .....                    | 250 |

## 第2篇 机内测试及诊断技术在飞机上的应用

### 第8章 概论

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 8.1 机内测试及诊断技术在军用飞机上的应用及发展 ..... | 251 |
| 8.2 BIT 技术在民用飞机上的应用及发展 .....    | 252 |
| 8.3 BIT 应用中存在的主要问题及解决途径 .....   | 253 |
| 参考文献 .....                      | 254 |

### 第9章 军用飞机上的应用

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 9.1 F-15 战斗机 ..... | 255 |
| 9.1.1 概述 .....     | 255 |

|          |                                 |     |
|----------|---------------------------------|-----|
| 9.1.1.1  | F-15 航空电子设备的维修方案 .....          | 255 |
| 9.1.1.2  | F-15 航空电子设备的 BIT 系统 .....       | 255 |
| 9.1.1.3  | BIT 性能的验证及使用中的问题 .....          | 256 |
| 9.1.1.4  | BIT 研制工作的经验教训 .....             | 257 |
| 9.1.2    | 火控雷达 BIT .....                  | 258 |
| 9.1.2.1  | APG-63 火控雷达简况 .....             | 258 |
| 9.1.2.2  | 雷达 BIT 说明 .....                 | 258 |
| 9.1.2.3  | BIT 测试说明 .....                  | 268 |
| 9.1.2.4  | 显示器组的 BIT 说明 .....              | 272 |
| 9.1.2.5  | 系统故障指示 .....                    | 273 |
| 9.1.3    | 武器控制装置 BIT .....                | 273 |
| 9.1.3.1  | 武器控制装置简况 .....                  | 273 |
| 9.1.3.2  | 武器控制装置 BIT .....                | 274 |
| 9.2      | F-16 战斗机 .....                  | 278 |
| 9.2.1    | 概述 .....                        | 278 |
| 9.2.2    | F-16 航空电子系统的基本功能 .....          | 279 |
| 9.2.3    | 对 ST/BIT 的要求 .....              | 279 |
| 9.2.4    | F-16 航空电子系统维修特点 .....           | 280 |
| 9.2.5    | ST/BIT 系统方案 .....               | 281 |
| 9.2.6    | ST/BIT 的设计方法及以前的应用经验 .....      | 283 |
| 9.2.7    | ST/BIT 在实施中获得的经验教训 .....        | 287 |
| 9.2.8    | F-16 飞行控制系统 ST/BIT .....        | 289 |
| 9.2.8.1  | 设备简况 .....                      | 289 |
| 9.2.8.2  | F-16A/B 飞控系统 ST/BIT .....       | 290 |
| 9.2.8.3  | AFTI/F-16 数字式飞控系统的 ST/BIT ..... | 293 |
| 9.2.9    | F-16 火控雷达的 ST/BIT .....         | 298 |
| 9.2.9.1  | 设备简况 .....                      | 298 |
| 9.2.9.2  | AN/APG-66 的维修方案 .....           | 300 |
| 9.2.9.3  | AN/APG-66 的 ST/BIT 说明 .....     | 301 |
| 9.2.9.4  | 雷达 ST/BIT 管理 .....              | 309 |
| 9.2.9.5  | 取得的经验教训及后来的改进计划 .....           | 312 |
| 9.2.10   | F-16 电气系统 BIT .....             | 315 |
| 9.2.10.1 | 系统简介 .....                      | 315 |
| 9.2.10.2 | 电源系统的 BIT 监控器 .....             | 316 |
| 9.2.10.3 | 电气系统 BIT 设计 .....               | 317 |
| 9.2.10.4 | 机内测试验证 .....                    | 319 |
| 9.2.10.5 | 先进的诊断和显示方案 .....                | 320 |
| 9.3      | F/A-18 战斗攻击机 .....              | 321 |
| 9.3.1    | 概述 .....                        | 321 |