

可靠性及维修性 工程手册

(下 册)

曹天翔 主编
杨先振 王维翰 副主编

国防工业出版社

可靠性及维修性工程手册

(下 册)

主 编 曾天翔
副主编 杨先振 王维翰

国防工业出版社

· 北京 ·

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

可靠性及维修性工程手册 下册/曾天翔主编. —北京:国防工业出版社, 1995

ISBN 7-118-01249-1

I. 可... I. 曾... Ⅱ. 可靠性工程-可维修性-手册
IV. TB114.3

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 38 962 千字

1995 年 3 月第 1 版 1995 年 3 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1500 册 定价: 46.50 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

438867

主 编	曾天翔	
主 审	顾振中	
副主编	杨先振	王维翰
副主审	李沛琼	张增模

下册编写组成员(按姓氏笔划为序):

王七星	王维翰	毛黎明	吕明华
任占勇	刘永生	苏士安	杨先振
林典伦	庾桂平	祝耀昌	顾振中
龚庆祥	章文晋	魏子山	

前 言

科学技术的迅速发展,特别是计算机和微电子技术的突飞猛进,促进了可靠性及维修性工程的发展;同时,高性能战斗机、航天飞机等各种大型复杂系统的发展,对可靠性及维修性工程提出了更高的要求。近 40 年来,可靠性及维修性工程已从军事应用向民用领域,从电子工业向机械等其他工业部门,从硬件向软件方面发展,成为降低产品寿命周期费用,提高武器系统战斗力的一种有效工具。

近 20 年来,随着各种大型复杂系统的发展,系统的使用及保障费用急增,如 A/F-18 一类战斗机,其使用及保障费用约占寿命周期费用的一半。为改善这些复杂系统的保障性,提高战备完好性,在可靠性及维修性工程范畴里,又出现了可用性、测试性等新的重要特性,进一步扩大和深化了可靠性及维修性工程的内涵,提高了它在现代系统设计中的地位。美国空军在 1985 年发布的《美国空军 2000 年可靠性及维修性行动计划》中,把可靠性及维修性作为与武器性能同等重要的要求来看待。它力图把改善可靠性及维修性作为提高航空武器系统的战斗力,增强生存力,减少运输要求,节省人力和降低费用的主要途径。

可靠性及维修性工程是一项综合性强,涉及面广的通用基础技术,同时也是各专业工程技术与管理必须了解和掌握的一门通用保证技术和管理学科。它与型号设计、试验、生产管理、质量控制、订货、维修及使用保障等部门密切相关;它涉及到设计和试验技术、材料与工艺技术、概率与数理统计方法、物理与化学等各种学科。因此,加强可靠性及维修性管理是可靠性及维修性工程发展的基本保证。特别是高层领导的重视和支持,是可靠性及维修性工作获得成功的关键。各级领导在进行决策时,必须转变单纯追求技术性能而轻视可靠性及维修性的观念,树立可靠性及维修性与性能同等重要的观念;必须转变只考虑设计、研制及生产的问题而忽视使用、维修和保障问题,树立寿命周期的观念。

高的可靠性及好的维修性无疑是人们所希望的。然而,可靠性及维修性并非越高越好,在产品设计中,必须对产品性能、费用与可靠性及维修性等进行权衡分析,以获得最佳的效果,并把最优化的可靠性及维修性要求设计到产品中。

本手册按产品寿命周期中的各项活动为顺序,全面地论述可靠性及维修性要求、分析、设计、试验及管理的各种技术及方法,为从事产品设计、试验、管理、使用及维修人员提供参考。它参考了美国 70 年代后期以来出版的各种可靠性及维修性标准、手册、技术报告和论文,吸取了我国航空、航天、机电等部门近十年来在可靠性及维修性领域的某些研究成果和经验,编入了非电子产品、非工作状态和软件可靠性以及电子产品测试性等新技术,反映了 80 年代的水平。它结合我国国情,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及数据。希望它能成为工程技术人员贯彻各种可靠性及维修性标准的主要工具书。为便于读者使用,个别重要内容在不同的章节可能重复出现。

本手册由航空航天部 301 所负责组织,并与 628 所、611 所和 320 厂等单位联合编写。在手册的编写及出版过程中,航空科学技术研究院标准计量处、航空机载设备总公司等有关部门

的领导给了大力支持和帮助,北京航空航天大学可靠性工程研究所戴慈庄教授、空军第一研究所王立群研究员参与了对本手册的审阅工作,在此表示感谢。

本手册(下册)编写执笔者:第一章 杨先振(1.1和1.6)、苏士安(1.2和1.5.1)、祝耀昌(1.3)、任占勇(1.4)、王七星(1.5.2)、龚庆祥(1.5.3),第一章由祝耀昌统稿;第二章 王维翰、章文晋;第三章 林典伦;第四章 魏子山;第五章 曾天翔;第六章 顾振中;第七章 毛黎明(7.1~7.4、F7.1和F7.2)、任占勇(7.5)、庾桂平(7.6)、吕明华(7.3.6和7.7)、刘永生(7.3.6)。

内 容 简 介

本手册是一套实用性强的工程手册,分上下两册出版。上册共七章,简要回顾了可靠性及维修性工程的发展,系统地介绍可靠性及维修性的基本理论和常用的数学模型,深入讨论可靠性及维修性参数的选择、指标的规定、分配和预计的方法,详细论述目前常用的可靠性及维修性分析与设计技术及方法。

下册共七章,详细讨论了产品的可靠性研制和增长试验,环境应力筛选,可靠性鉴定和验收试验,维修性验证等的试验方案、方法及技术,系统地介绍软件可靠性、测试性和机内测试、非工作状态的可靠性及维修性等的分析、设计和试验技术,讨论了以可靠性为中心的维修理论和方法,以及维修大纲的编制原则及方法,最后还全面论述了可靠性及维修性的管理特点及管理程序。

本手册介绍的技术及方法可用于电子、机电和机械等各类产品。它可作为从事航空、航天、造船、核能、电子、电力、机械和兵器等工业部门的工程技术人员、管理人员、使用及维修人员的参考工具书,可供高等院校的师生参考,经过适当剪裁也可作为各种培训班的教材。

7-118-01249-1/TB·52

定价:46.50 元

目 录

第一章 可靠性试验和耐久性试验

1.1 引言	(1)
1.1.1 可靠性试验的发展史	(1)
1.1.2 可靠性试验的目的与分类	(2)
1.1.3 可靠性试验与其他试验的关系	(3)
1.2 通用要求	(4)
1.2.1 制订可靠性试验计划	(5)
1.2.1.1 受试产品的说明及数量	(5)
1.2.1.2 确定试验时间和进度	(5)
1.2.1.3 试验场所选取	(5)
1.2.1.4 规定可靠性试验条件	(5)
1.2.1.5 拟定可靠性试验方案	(5)
1.2.1.6 可靠性试验数据的处理要求	(5)
1.2.1.7 设置评审点	(6)
1.2.1.8 温度测定	(6)
1.2.1.9 振动测定	(6)
1.2.2 试验设备和仪器	(6)
1.2.2.1 试验箱	(6)
1.2.2.2 试验仪器	(7)
1.2.2.3 受试产品的检测	(7)
1.2.3 受试产品的预防性维修	(7)
1.2.4 故障的处理	(7)
1.2.5 故障报告、分析和纠正措施系统 (FRACAS)	(7)
1.2.6 故障分类	(7)
1.2.7 受试产品修复性维修	(8)
1.2.8 可靠性试验记录和报告	(8)
1.3 环境应力筛选	(8)
1.3.1 概述	(8)
1.3.1.1 环境应力筛选(ESS)和可靠性	(8)
1.3.1.2 ESS的应用效果	(10)
1.3.2 环境应力筛选基本概念	(12)
1.3.2.1 环境应力筛选特性	(12)

1.3.2.2 环境应力筛选与其他工作的关系	(12)
1.3.2.3 环境应力筛选的应用	(14)
1.3.2.4 浴盆曲线和筛选机理	(15)
1.3.2.5 产品中的缺陷及其影响因素	(16)
1.3.2.6 筛选缺陷及其比例	(17)
1.3.3 筛选用典型环境应力及其相应设备	(19)
1.3.3.1 典型应力	(19)
1.3.3.2 各种应力筛选效果的比较	(24)
1.3.4 元器件筛选	(26)
1.3.4.1 元器件筛选的重要性	(26)
1.3.4.2 元器件筛选场所	(29)
1.3.4.3 元器件生产筛选方法	(30)
1.3.4.4 元器件验收筛选通用方法	(38)
1.3.5 组件级以上产品的筛选大纲的设计	(39)
1.3.5.1 ESS大纲的基本内容	(39)
1.3.5.2 ESS大纲设计准则	(40)
1.3.5.3 ESS大纲的设计方法	(40)
1.3.6 组件级以上筛选大纲的实施	(48)
1.3.6.1 一般要求	(48)
1.3.6.2 ESS实施过程	(50)
1.3.6.3 有关事项	(52)
1.3.7 温度、振动响应调查和故障调查	(53)
1.3.7.1 概述	(53)
1.3.7.2 温度稳定时间和热点确定方法	(53)
1.3.7.3 温度软故障调查方法	(54)
1.3.7.4 振动响应调查方法	(54)
1.3.7.5 振动软故障调查方法	(54)
1.4 可靠性研制与增长试验	(56)
1.4.1 可靠性研制试验	(56)
1.4.2 可靠性增长试验	(56)
1.4.2.1 可靠性增长试验的基本概念	(56)
1.4.2.2 可靠性增长试验的需求分析	(60)
1.4.2.3 可靠性增长试验的适用时机及对 试验样品的要求	(60)

1.4.2.4	可靠性增长试验的环境条件	(61)
1.4.2.5	可靠性增长试验用的数学模型	(73)
1.4.2.6	可靠性增长潜力分析	(87)
1.4.2.7	可靠性增长试验大纲的编制	(96)
1.4.2.8	可靠性增长试验计划	(97)
1.4.2.9	可靠性增长试验的跟踪	(101)
1.4.2.10	可靠性增长试验中故障的处理	(104)
1.4.2.11	可靠性增长试验评估	(105)
1.4.2.12	可靠性增长试验的结束	(105)
1.5	可靠性鉴定和验收试验	(106)
1.5.1	电子产品的可靠性鉴定试验和验收试验	(106)
1.5.1.1	可靠性特征量的说明	(106)
1.5.1.2	可靠性鉴定和验收试验前工作	(107)
1.5.1.3	可靠性统计试验	(109)
1.5.1.4	可靠性统计试验方案及试验数据处理	(111)
1.5.2	非电子产品可靠性验证试验方案	(175)
1.5.2.1	概述	(175)
1.5.2.2	试验方案说明	(175)
1.5.3	可靠性鉴定试验示例	(186)
1.5.3.1	试品概况	(186)
1.5.3.2	试验前的准备工作	(186)
1.5.3.3	试验程序	(205)
1.5.3.4	试验结果	(206)
1.6	耐久性试验	(207)
1.6.1	概述	(207)
1.6.2	耐久性(寿命)试验分类	(208)
1.6.3	耐久性(寿命)参数	(208)
1.6.4	耐久性(寿命)试验大纲的编写	(211)
1.6.4.1	耐久性(寿命)试验目的与作用	(211)
1.6.4.2	耐久性(寿命)试验大纲编写需考虑的因素	(211)
1.6.5	耐久性(寿命)试验的抽样	(212)
1.6.6	耐久性(寿命)试验方法	(213)
1.6.6.1	正常应力试验方法	(213)
1.6.6.2	MTBF 控制试验法	(213)
1.6.6.3	薄弱环节试验法	(213)
1.6.6.4	截尾寿命试验方法	(213)
1.6.6.5	加速寿命试验方法	(214)
1.6.7	首翻期初始值及总寿命的计算	(219)
1.6.7.1	首翻期初始值的计算	(219)
1.6.7.2	总寿命的计算	(224)

参考文献	(225)
------	-------

第二章 维修性验证

2.1	引言	(226)
2.2	维修性验证的主要类型	(226)
2.2.1	维修性核查	(226)
2.2.2	维修性演示	(227)
2.2.3	维修性评估	(228)
2.3	维修性验证大纲	(228)
2.3.1	制定维修性验证方案	(229)
2.3.1.1	选择验证方法	(229)
2.3.1.2	选择维修作业	(229)
2.3.1.3	维修作业(样本)的分配	(229)
2.3.1.4	故障模拟	(230)
2.3.1.5	故障排除	(231)
2.3.1.6	预防维修	(231)
2.3.2	背景资料	(232)
2.3.3	受试项目的接口	(232)
2.3.4	试验的组织和管理	(232)
2.3.5	物资保障	(233)
2.3.6	维修性验证试验的准备	(233)
2.3.7	维修性验证试验的实施	(233)
2.3.8	试验数据的搜集、分析和信息反馈	(234)
2.3.9	维修性验证的基本准则	(234)
2.3.10	维修性验证试验报告	(235)
2.4	维修性演示实例	(236)
2.4.1	样机维修性演示的组织和管理	(236)
2.4.1.1	样机维修性演示的组织	(236)
2.4.1.2	样机维修性演示监督组的组织和职责	(236)
2.4.1.3	样机维修性演示工作队的组成和职责	(236)
2.4.1.4	样机库检验人员	(237)
2.4.2	样机维修性演示对设施的要求	(237)
2.4.3	要求记录的数据内容和性质	(237)
2.4.4	演示的基本准则	(237)
2.4.5	样机维修性演示阶段的划分及各阶段的任务	(237)
2.4.5.1	样机维修性演示阶段的划分	(237)
2.4.5.2	计划和预演示阶段的任务	(238)

2.4.6 演示阶段的任务	(238)		(252)
2.4.7 演示后阶段的任务	(238)	2.5.6.1 概述	(252)
2.4.8 “演示报告表”及其填写指南	(239)	2.5.6.2 讨论	(253)
2.4.9 维修性检查表	(240)	2.5.6.3 判定过程	(253)
2.5 维修性时间指标的验证试验方法	(244)	2.5.7 方法6 平均修复时间 $\bar{M}_{Ci}$ 和最大修复时间 M_{maxCi} 的验证试验	(253)
2.5.1 说明	(244)	2.5.7.1 概述	(253)
2.5.2 方法1 均值的试验	(244)	2.5.7.2 使用条件	(253)
2.5.2.1 概述	(244)	2.5.7.3 定量要求	(253)
2.5.2.2 假设	(244)	2.5.7.4 任务选择和实施	(253)
2.5.2.3 假设举例	(244)	2.5.7.5 接收/拒收准则	(253)
2.5.2.4 样本量	(245)	2.5.7.6 讨论	(256)
2.5.2.5 判定过程	(245)	2.5.8 方法7 $\bar{M}_{Ci}$ 、 $\bar{M}_{pi}$ 、 $\bar{M}$ 和 M_{maxCi} 的验证试验	(257)
2.5.2.6 讨论	(245)	2.5.8.1 概述	(257)
2.5.2.7 示例	(245)	2.5.8.2 使用条件	(257)
2.5.2.8 OC 曲线	(246)	2.5.8.3 定量要求	(257)
2.5.3 方法2 临界百分位数的试验	(246)	2.5.8.4 任务选择和实施	(257)
2.5.3.1 概述	(246)	2.5.8.5 接收/拒收准则	(258)
2.5.3.2 假设	(246)	2.5.8.6 符号说明	(259)
2.5.3.3 假设举例	(246)	2.5.9 方法8 $\bar{M}_{Ci}$ 、 $\bar{M}_{pi}$ 、 M_{maxCi} 和 M_{maxpi} 的验证试验	(259)
2.5.3.4 样本量	(246)	2.5.9.1 概述	(259)
2.5.3.5 判定过程	(246)	2.5.9.2 使用条件	(260)
2.5.3.6 讨论	(247)	2.5.9.3 定量要求	(260)
2.5.3.7 示例	(248)	2.5.9.4 任务选择和实施	(260)
2.5.3.8 OC 曲线	(248)	2.5.9.5 接收/拒收准则	(260)
2.5.4 方法3 临界维修时间或工时的试验	(249)	2.5.10 方法9 $\bar{M}_{pi}$ 和(或) M_{maxpi} 的验证试验	(260)
2.5.4.1 概述	(249)	2.5.10.1 概述	(260)
2.5.4.2 假设	(249)	2.5.10.2 使用条件	(260)
2.5.4.3 假设举例	(249)	2.5.10.3 定量要求	(260)
2.5.4.4 样本量 n 和接收数 C	(249)	2.5.10.4 任务选择和实施	(261)
2.5.4.5 判定过程	(249)	2.5.10.5 接收/拒收准则	(261)
2.5.4.6 讨论	(250)	2.6 备选试验方案	(261)
2.5.4.7 示例	(250)	2.6.1 概述	(261)
2.5.4.8 OC 曲线	(250)	2.6.2 抽样方案假设	(261)
2.5.5 方法4 中值的试验	(250)	2.6.3 对数正态分布	(261)
2.5.5.1 概述	(250)	2.6.4 符号说明	(261)
2.5.5.2 假设	(250)	2.6.5 固定样本试验(对数正态分布)	(262)
2.5.5.3 样本量	(250)	2.6.5.1 介绍	(262)
2.5.5.4 任务选择和实施	(251)	2.6.5.2 方法1 验证对数正态分布的中值	(262)
2.5.5.5 判定过程	(251)	2.6.5.3 方法2 验证临界维修时间	(263)
2.5.5.6 讨论	(251)		
2.5.6 方法5 工时率的试验(采用模拟故障)			

2.6.5.4 方法3 对数正态参数的组合试验	(264)
2.6.6 序贯试验(对数正态分布)	(268)
2.6.6.1 介绍	(268)
2.6.6.2 方法4 验证对数正态分布的均值、中值 或百分位数的序贯试验, σ^2 已知	(268)
2.6.6.3 方法5 验证对数正态分布的中值的 序贯试验, σ^2 未知	(270)
2.6.6.4 方法6 验证临界维修时间的序贯试验, σ^2 未知	(271)
2.6.7 非参数试验	(272)
2.6.7.1 介绍	(272)
2.6.7.2 方法7 验证中值或百分位数	(272)
2.6.7.3 方法8 验证两个临界维修时间	(274)
2.6.7.4 方法9 验证对数正态分布	(278)
2.6.7.5 方法10 一项临界维修时间的序贯试验	(281)
2.6.8 试验方法选择指导	(282)
2.6.8.1 介绍	(282)
2.6.8.2 10种方法的概况	(282)
2.6.8.3 选择试验方法决策树简介	(282)
参考文献	(284)

第三章 测试性

3.1 概述	(285)
3.2 名词术语	(285)
3.3 研制与生产阶段的测试性工作	(286)
3.3.1 战术技术指标论证阶段	(286)
3.3.1.1 任务C1:测试性要求	(286)
3.3.1.2 任务C2:测试权衡	(287)
3.3.1.3 任务C3:初步系统规范	(287)
3.3.2 方案论证及确认阶段	(288)
3.3.2.1 任务V1:测试性工作计划	(288)
3.3.2.2 任务V2:把测试性结合到初步设计中	(289)
3.3.2.3 任务V3A:权衡BIT、ETE和人工测试三者 组合的备选设计方案	(291)
3.3.2.4 任务V4:初步设计的固有测试性分析	(291)
3.3.2.5 任务V5A:编写测试性分析报告	(292)
3.3.2.6 任务V6:准备规范	(293)

3.3.2.7 任务V7A:支持初步设计评审(PDR)	(293)
3.3.3 工程研制阶段	(294)
3.3.3.1 任务P1:进行测试要求分析	(294)
3.3.3.2 任务P2A:预测系统、分系统和每个UUT的 故障检测和隔离水平	(294)
3.3.3.3 任务P3A:测试性费用效益分析	(295)
3.3.3.4 任务P4A:对每个CI,评审测试性特性和 预计的测试性参数	(295)
3.3.3.5 任务P5:测试性验证	(296)
3.3.3.6 任务P6A:编写测试性分析最终报告	(297)
3.3.3.7 任务P7A:监控、评价和建议纠正措施	(297)
3.3.3.8 任务P8A:提供现场测试性数据	(297)
3.3.4 生产阶段	(297)
3.3.4.1 任务P1:监控生产过程趋向,审查更改 测试性建议	(297)
3.3.5 使用阶段	(298)
3.3.5.1 任务D1A:监控使用和保障活动	(298)
3.3.5.2 任务D1B:评审测试性更改计划	(298)
3.4 测试性的规定及分配	(298)
3.4.1 测试性的规定	(298)
3.4.1.1 测试性定量要求的规定	(299)
3.4.1.2 测试性分配	(301)
3.5 测试性分析	(302)
3.5.1 固有测试性分析	(302)
3.5.2 系统测试性分析	(306)
3.5.3 LRU测试性分析	(309)
3.5.4 SRU测试性分析	(309)
3.5.5 BIT分析	(310)
3.5.5.1 BIT初步分析	(310)
3.5.5.2 BIT性能分析	(311)
3.6 测试性验证	(312)
3.6.1 概述	(312)
3.6.2 方法1:GB 5080.5的方法	(312)
3.6.3 方法2:RADC的方法	(314)
3.6.4 MIL-STD-471A的方法	(321)
3.7 测试性预计	(324)
3.7.1 概述	(324)
3.7.2 预计方程	(324)
3.7.2.1 CND事件的分类	(324)
3.7.2.2 预计方程的最终形式	(326)

3.7.3 应用指南	(326)
3.8 测试性设计	(328)
3.8.1 测试性设计的范围	(328)
3.8.2 测试性设计的权衡	(328)
3.8.2.1 人工测试与自动测试的权衡	(328)
3.8.2.2 BIT 和 ATE 的权衡	(328)
3.8.2.3 BIT 和脱机测试的配合	(329)
3.8.3 测试性设计的一般指南	(329)
3.8.3.1 对 BIT 设计的要求	(329)
3.8.3.2 对 BIT 软件的要求	(329)
3.8.3.3 为减少虚警的设计指南	(330)
3.8.3.4 对划分的要求	(331)
3.8.3.5 对测试点的要求	(332)
3.8.3.6 对容差的要求	(333)
3.8.3.7 对传感器的要求	(333)
3.8.3.8 对指示器的要求	(334)
3.8.3.9 关键测试参数的确定	(334)
3.8.3.10 UUT 与 ETE 的兼容性核对应表	(335)
3.8.3.11 对初始化的要求	(335)
3.8.3.12 对可控性的要求	(336)
3.8.3.13 对可观性的要求	(336)
参考文献	(337)

第四章 软件可靠性

4.1 引言	(338)
4.2 软件可靠性的基本概念	(338)
4.2.1 术语定义	(338)
4.2.2 软件可靠性与硬件可靠性的区别 和联系	(339)
4.2.3 软件可靠性常用的度量参数	(343)
4.3 软件错误及其分类	(344)
4.3.1 软件错误及其根源	(344)
4.3.2 软件错误分类	(344)
4.3.2.1 语法错误	(344)
4.3.2.2 语义错误	(345)
4.3.2.3 运行期错误	(345)
4.3.2.4 规范错误	(345)
4.3.2.5 性能错误	(345)
4.4 软件可靠性建模	(346)
4.4.1 模型中使用符号说明	(346)
4.4.2 分析模型	(346)

4.4.2.1 失效间隔时间模型	(347)
4.4.2.2 失效计数模型	(348)
4.4.2.3 故障插入模型和以输入域为基础 的模型	(348)
4.4.2.4 软件可靠性模型假设及其限制	(349)
4.4.2.5 软件可靠性模型在软件开发各阶段 的应用	(351)
4.4.2.6 建模的一般程序	(352)
4.4.3 经验模型	(352)
4.4.3.1 莫兰达模型	(352)
4.4.3.2 霍尔思特德模型	(353)
4.4.3.3 施奈德模型	(353)
4.5 软件可靠性预计及估计	(353)
4.5.1 软件可靠性预计及估计的一般 程序	(353)
4.5.2 软件可靠性预计及估计方法	(354)
4.5.2.1 数学模型法	(354)
4.5.2.2 经验公式法	(364)
4.6 提高软件可靠性的方法	(366)
4.6.1 规范编写	(366)
4.6.2 设计	(368)
4.6.2.1 逐步检查法	(368)
4.6.2.2 故障抑制	(369)
4.6.2.3 避错技术	(369)
4.6.3 程序测试	(375)
4.6.4 容错技术	(376)
4.6.4.1 N 版本编程法	(376)
4.6.4.2 恢复程序块法	(377)
4.6.4.3 N 版本编程法和恢复块法的比较	(380)
4.7 软件的验证与确认	(381)
4.8 软件可靠性管理	(383)
4.8.1 概述	(383)
4.8.2 软件可靠性的管理活动及技术	(384)
4.8.2.1 要求定义	(385)
4.8.2.2 系统分析	(385)
4.8.2.3 程序包设计	(386)
4.8.2.4 单元设计、代码及调试	(386)
4.8.2.5 程序包综合及测试	(386)
4.8.2.6 系统综合及测试	(386)
4.8.2.7 验收测试	(386)
4.8.2.8 大纲计划	(386)
4.8.2.9 规范	(386)
4.8.2.10 数据系统	(387)

4.8.2.11 型号项目大纲评审	(387)
4.8.2.12 测试计划	(388)
4.8.2.13 技术手册	(388)
参考文献	(388)

第五章 非工作状态的可靠性、 维修性和测试性

5.1 引言	(390)
5.2 非工作环境	(391)
5.2.1 系统寿命周期剖面	(391)
5.2.2 环境考虑因素	(394)
5.3 储存、运输和装卸	(397)
5.3.1 储存	(498)
5.3.1.1 储存的类型、能力及限制	(498)
5.3.1.2 爆炸物的储存	(498)
5.3.1.3 储存期间引起质量及可靠性下降 的因素	(499)
5.3.2 运输	(401)
5.3.2.1 运输设备、能力及限制	(401)
5.3.2.2 运输环境及其影响	(401)
5.3.3 装卸	(402)
5.4 非工作状态对产品可靠性的 影响	(403)
5.4.1 非工作故障率通用模型	(403)
5.4.2 温度影响	(404)
5.4.3 设备通-断循环的影响	(405)
5.4.4 环境因子	(406)
5.4.5 可靠性综合模型	(407)
5.5 非工作状态的可靠性设计	(408)
5.5.1 元器件选择及控制	(408)
5.5.1.1 概述	(408)
5.5.1.2 元器件选择及控制的通用指南	(410)
5.5.1.3 具体元器件的选择及控制指南	(412)
5.6 非工作状态的维修性及维修	(414)
5.6.1 非工作产品的维修方案	(414)
5.6.1.1 “简捷”维修方案	(415)
5.6.1.2 定期监控和(或)修理的维修方案	(416)
5.6.2 非工作产品的维修性设计	(416)
5.6.2.1 无维修设计考虑	(416)
5.6.2.2 定期监控和(或)修理设计考虑	(417)

5.7 非工作状态的测试性	(422)
5.7.1 测试方案	(422)
5.7.2 非工作系统的测试性设计考虑	(423)
5.7.2.1 维修方案对测试性的影响	(423)
5.7.2.2 测试效能对非工作系统的影响	(423)
5.7.2.3 “通过-不通过”与“参数”测试	(424)
5.7.2.4 非工作系统的测试性设计指南	(424)
5.8 劣化的保护	(425)
5.8.1 保护方法	(425)
5.8.2 包装及其他保护技术	(427)
5.8.2.1 组件包装	(428)
5.8.2.2 防湿气	(428)
5.8.2.3 电磁辐射保护技术	(429)
5.8.2.4 其他的环境保护	(431)
5.8.3 容器设计	(432)
5.8.4 储存中的定期检验	(433)
5.9 试验与评估	(437)
5.9.1 内场试验和评估	(437)
5.9.1.1 最坏情况电路容差分析	(437)
5.9.1.2 寿命周期可靠性评估	(438)
5.9.1.3 加速寿命试验	(440)
5.9.1.4 环境应力筛选	(442)
5.9.2 外场试验和评估	(442)
5.9.2.1 战备完好性评估模型	(442)
5.9.2.2 定期试验及再验证	(443)
5.9.3 专门的试验和评估	(444)
5.9.3.1 储存品实验室试验	(444)
5.9.3.2 储存品飞行试验	(445)
5.9.3.3 实时元器件老化试验	(445)
参考文献	(446)

第六章 以可靠性为中心的维修分析 与装备预防性维修大纲

6.1 引言	(447)
6.1.1 RCMA 的发展与应用	(447)
6.2 RCM 的基本理论	(449)
6.2.1 维修对象	(449)
6.2.2 按故障类型和后果确定维修工作	(449)
6.2.3 维修方式与预定维修工作类型	(450)
6.2.4 逻辑决断分析	(450)

5.2.4.1	系统/动力装置的逻辑决断分析	(451)
6.2.4.2	结构逻辑决断分析	(451)
6.2.5	维修间隔期与工龄探索	(451)
6.2.6	RCMA 与保障性分析(LSA)	(451)
6.3	装备预防性维修大纲	(451)
6.3.1	维修大纲主要内容	(451)
6.3.2	制订维修大纲的组织与过程	(454)
5.3.2.1	组织形式	(454)
6.3.2.2	编制过程	(455)
6.4	系统/设备的 RCMA 方法和程序	(456)
6.4.1	概述	(456)
6.4.2	确定重要功能产品的详细步骤	(456)
6.4.3	进行 FMECA/FMEA	(458)
6.4.4	逻辑决断	(458)
6.4.4.1	逻辑决断图	(458)
6.4.4.2	划分故障后果	(459)
6.4.4.3	按各故障影响分支确定维修工作类型	(460)
6.4.4.4	确定预防性维修工作类型	(462)
6.4.5	确定预防性维修工作间隔期	(470)
6.4.6	确定维修级别	(470)
6.4.7	非重要功能产品的维修工作	(471)
6.4.8	维修间隔期探索(工龄探索)	(471)
6.4.9	RCMA 记录	(471)
6.4.10	波音 757 飞机液压刹车系统 RCMA 示例	(471)
6.5	结构维修大纲的制订	(475)
6.5.1	概述	(475)
6.5.1.1	适用范围	(475)
6.5.1.2	结构项目的特性	(475)
6.5.1.3	结构维修工作分析的特点	(475)
6.5.1.4	制定结构维修大纲所需的信息	(475)
6.5.1.5	结构维修大纲的制定步骤	(476)
6.5.2	重要结构项目的选择	(476)
6.5.2.1	重要结构项目的定义	(476)
6.5.2.2	重要结构项目选择方法	(476)
6.5.2.3	典型的重要结构项目类型	(477)
6.5.3	结构的逻辑决断分析	(477)
6.5.3.1	决断时应考虑的因素	(477)
6.5.3.2	决断过程	(477)
6.5.4	重要结构项目的评级	(479)
6.5.4.1	疲劳损伤的评级	(479)

6.5.4.2	环境损伤的评级	(479)
6.5.4.3	偶然损伤的评级	(480)
6.5.5	重要结构项目检查要求的确定	(480)
6.5.5.1	疲劳损伤检查要求	(480)
6.5.5.2	环境损伤检查要求	(481)
6.5.5.3	偶然损伤检查要求	(481)
6.5.5.4	维修间隔期探索	(481)
6.5.5.5	维修级别的确定	(481)
6.5.5.6	检查工作的组合	(481)
6.6	区域检查大纲和日常工作	(482)
6.6.1	区域检查大纲	(482)
6.6.1.1	概述	(482)
6.6.1.2	区域检查大纲的制订步骤	(482)
6.6.1.3	区域检查大纲制订法的示例	(483)
6.6.1.4	区域检查大纲的形式	(484)
6.6.2	润滑保养工作	(485)
6.6.3	日常一般目视检查	(486)
参考文献		(486)

第七章 可靠性和维修性管理

7.1	引言	(487)
7.2	可靠性和维修性管理的特点	(488)
7.2.1	参数应用的针对性要求进行正确的 参数选择	(488)
7.2.2	指标实现的阶段性决定了必须全 过程跟踪	(489)
7.2.3	可靠性和维修性评估对信息的依赖 性要求加强信息管理	(489)
7.2.4	可靠性和维修性保证的协同性需要 跨部门合作	(489)
7.3	产品寿命周期中的可靠性和维修 性管理	(490)
7.3.1	产品寿命周期内的可靠性和维修性 管理活动	(490)
7.3.2	可靠性和维修性工作计划	(492)
7.3.2.1	计划制定的依据和原则	(493)
7.3.2.2	编制计划的程序和要点	(493)
7.3.2.3	可靠性和维修性工作项目的剪裁	(493)
7.3.3	可靠性和维修性指标管理	(496)
7.3.4	可靠性和维修性工作过程控制	(500)
7.3.4.1	对设计依据的控制	(500)

7.3.4.2 对研制过程的监督与控制	(501)	7.6.2.2 可靠性增长潜力分析	(536)
7.3.4.3 技术状态管理	(504)	7.6.2.3 高层管理部门的职责	(536)
7.3.5 可靠性和维修性管理保证	(506)	7.6.2.4 可靠性增长预算	(536)
7.3.6 飞控系统研制阶段可靠性和维修性 管理示例	(508)	7.6.2.5 可靠性增长管理的一般模式	(537)
7.3.6.1 概述	(508)	7.6.2.6 可靠性增长管理模式的调整	(537)
7.3.6.2 系统概况	(508)	7.6.3 可靠性增长管理计划	(538)
7.3.6.3 适用的系统可靠性和维修性指标	(509)	7.6.3.1 起始点	(538)
7.3.6.4 系统及各分系统和LRU的可靠性和 维修性工作项目	(509)	7.6.3.2 增长率	(538)
7.3.6.5 飞控系统研制阶段可靠性和维修性 工作的计划流程	(509)	7.6.3.3 确定主要试验阶段	(538)
7.4 接口管理	(514)	7.6.3.4 确定试验改进类型	(538)
7.4.1 可靠性和维修性工作接口	(514)	7.6.3.5 确定可靠性增长途径	(540)
7.4.2 综合保障与可靠性和维修性工程的 关系	(516)	7.6.3.6 理想的可靠性增长曲线	(541)
7.4.2.1 综合保障的定义、目标及工作	(516)	7.6.3.7 计划的可靠性增长曲线	(543)
7.4.2.2 对可靠性和维修性的影响	(516)	7.6.4 可靠性增长过程的跟踪与控制	(545)
7.4.2.3 综合保障将可靠性和维修性设计与 保障要求相结合	(517)	7.6.4.1 定性跟踪与控制	(545)
7.4.2.4 保障性分析是在设计中实现与保障 结合的重要手段	(517)	7.6.4.2 定量跟踪与控制	(545)
7.4.2.5 寿命周期各阶段综合保障考虑要点	(518)	7.7 生产和使用的可靠性及维修性	(556)
7.4.3 生产性与可靠性和维修性工程的 关系	(519)	7.7.1 概述	(556)
7.4.3.1 生产性及生产要素	(520)	7.7.2 生产可靠性控制	(557)
7.4.3.2 对可靠性和维修性的影响	(520)	7.7.2.1 质量工程和质量控制	(557)
7.4.3.3 对安全性的影响	(520)	7.7.2.2 生产可靠性的估计和控制	(559)
7.4.4 接口管理的实施	(520)	7.7.2.3 生产可靠性试验和数据的收集分析	(560)
7.4.4.1 实施接口管理的重要手段是建立信息 渠道	(520)	7.7.3 生产维修性控制	(562)
7.4.4.2 接口控制文件	(521)	7.7.3.1 维修性工作要点	(562)
7.4.4.3 接口管理机构及职责	(521)	7.7.3.2 生产阶段的维修性保证工作	(562)
7.5 可靠性及维修性数据	(522)	7.7.4 使用可靠性和维修性的估计和 改进	(563)
7.5.1 概述	(522)	7.7.4.1 外场使用过程中造成可靠性和维修性 下降的因素	(563)
7.5.2 数据收集与反馈	(523)	7.7.4.2 大修厂维修劣化控制	(563)
7.5.3 故障报告及分析	(525)	7.7.4.3 维修计划对控制维修劣化的重要性	(564)
7.5.3.1 故障报告	(525)	7.7.4.4 可靠性和维修性评估和分析	(565)
7.5.3.2 故障分析	(527)	7.7.4.5 可靠性和维修性增长	(565)
7.6 可靠性增长管理	(534)	附录	(567)
7.6.1 概述	(534)	F7.1 国家(行业)有关可靠性和维修性管理 的规定与标准	(567)
7.6.2 可靠性增长管理的准备工作	(535)	F7.1.1 《军工产品质量管理条例》	(567)
7.6.2.1 用于可靠性增长的信息源	(535)	F7.1.2 《航空技术装备寿命和可靠性工作暂行 规定(试行)》	(568)
		F7.1.3 《武器装备可靠性与维修性管理规定》	(568)
		F7.1.4 《装备研制与生产的可靠性通用大纲》 (GJB 450)	(568)

F7.1.5 《装备维修性通用规范》(GJB 368)	(569)	(GJB 841)	(574)
F7.1.6 《航空技术装备维修性管理大纲》 (HB 6185)	(570)	F7.1.12 《航空产品可靠性增长 管理》 (HB/Z 214.2)	(574)
F7.1.7 《装备可靠性维修性参数选择和指标确定 要求 军用飞机》(GJB 1909.5)	(570)	F7.1.13 《可靠性和维修性工程报告编写一般 要求》(GJB/Z 23)	(574)
F7.1.8 《飞机维修品质规范》(GJB 312)	(572)	F7.2 可靠性和维修性文件体系	(575)
F7.1.9 《厂际质量保证体系工作指南》 (GJB/Z 2)	(573)	F7.2.1 体系构成	(575)
F7.1.10 《设计评审》(GJB 1310)	(573)	F7.2.2 可靠性和维修性标准项目表	(576)
F7.1.11 《故障报告、分析和纠正措施系统》 (GJB 841)	(574)	参考文献	(580)

第一章 可靠性试验和耐久性试验

1.1 引言

1.1.1 可靠性试验的发展史

1952年美国由军方、工业界及学术界成立了电子设备可靠性咨询组(AGREE)。1955年,AGREE制订了一项可靠性发展计划,并于1957年6月发表了可靠性研究报告《军用电子设备可靠性》。该报告首次全面阐述了寿命及可靠性试验的方法和程序。在此基础上,1959年6月美国国防部颁发了MIL-R-26667A《电子设备可靠性要求运用规范》,此规范成为MIL-STD-781的前身。1963年,美国国防部颁发了可靠性试验标准MIL-STD-781《可修复的电子电子设备可靠性试验等级和接收拒收判据》,1965年修改为MIL-STD-781A,1967年又进一步修改,颁发了MIL-STD-781B,改名为《可靠性设计鉴定试验及产品验收试验(指数分布)》,规定了一组较为完善的可靠性试验计划、试验程序及试验条件,并附有各种图表可供使用,这个标准在国际上得到广泛使用。大量的使用经验表明,许多航空电子设备外场使用获得的MTBF值与实验室中按照MIL-STD-781B试验得到的数据相差悬殊,有的高达数倍。造成这种差别的主要原因之一,是MIL-STD-781B未规定使用综合环境应力进行试验。为此,1977年颁发了MIL-STD-781C,明确规定可靠性试验要在更符合实际工作环境的综合环境应力条件下(温度、振动与湿度综合)进行。至此,以指数分布类型的电子产品可靠性统计试验的程序、方法和评估方法,达到了比较完善的程度。

可靠性工程试验较可靠性统计试验发展稍晚。这类试验包括可靠性研制和增长试验、环境应力筛选。

在60年代后期及70年代初期,美国海军的某些承包商采用可靠性研制和增长试验,即试验-分析-改进(TAAF)方法。1975年美国海军开始正式要求在新的型号项目及研制中的某些项目采用TAAF方法。1977年发布的NAVMAT 3000.1A文件中正式提出TAAF要求。1977年美国海军航空系统司令部颁发了MIL-STD-2068《可靠性研制试验》,该标准指出可靠性研制试验的目的是保证大多数的可靠性问题在产品研制过程中得到解决。1978年,美国海军电子系统司令部颁发了MIL-STD-1635《可靠性增长试验》。该标准提出:成功的可靠性增长试验可导致取消可靠性鉴定试验,如果在产品提交前全部达到要求的可靠性。1980年,美国国防部颁发了DODD 5000.40指令及MIL-STD-785B。这两个文件把TAAF作为国防部部内要求实施的制度。1981年,美国国防部颁发了MIL-HDBK-189《可靠性增长管理》。1983年,美国国防科学委员会特别工作组认为从研制向生产转移中,TAAF是达到规定系统可靠性的关键要求。该工作组建议根据具体项目的要求能进行剪裁,并应与其他研制试验综合,以减少费用。1984年,美国国防部颁发了DOD 4245.7-M《从研制向生产的转移》采纳了该工作组的建议。1986年,美国海军出版了NAVSOP-6071手册《最好的实践》,详细地描述了TAAF的正确使用方法。