

冯静 孙权 罗鹏程 金光 颜兆林 刘敬军/编著

ZHUANGBEI KEKAOXING YU ZONGHE BAOZHANG

装备可靠性 与综合保障

- 第1章 绪论
- 第2章 装备的可靠性参数及指标
- 第3章 系统可靠性模型的建立与分析
- 第4章 可靠性预计与分配
- 第5章 可靠性设计分析技术
- 第6章 可靠性试验与鉴定
- 第7章 维修性设计与分析
- 第8章 安全性分析
- 第9章 保障系统设计
- 第10章 综合保障工程管理



国防科技大学出版社

装备可靠性与综合保障

冯 静 孙 权 罗鹏程
金 光 颜兆林 刘敬军 编著

国防科技大学出版社

·长沙·

内 容 简 介

本书系统、全面地介绍了装备可靠性与综合保障的基本理论与工程方法。全书共 10 章,主要内容包括武器装备的可靠性参数及指标、系统可靠性模型的建立与分析、可靠性预计与分配、可靠性设计分析技术、可靠性试验与鉴定、维修性设计与分析、安全性分析、保障系统设计、综合保障工程管理等。

本书适用于系统工程、可靠性等相关专业本科生及部分研究生的专业教材之一,也可供在职技术人员进行专业培训和从事专业工作时参考。

图书在版编目(CIP)数据

装备可靠性与综合保障/冯静等编著. —长沙:国防科技大学出版社,2008.3
ISBN 978 - 7 - 81099 - 479 - 8

I . 装… II . 冯 III . 武器装备管理—研究 IV . E075

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 019187 号

国防科技大学出版社出版发行
电话:(0731)4572640 邮政编码:410073
<http://www.gfkdcbs.com>
责任编辑:耿 筠 责任校对:文 慧
新华书店总店北京发行所经销
国防科技大学印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:31.25 字数:741 千
2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1—2000 册
ISBN 978 - 7 - 81099 - 479 - 8
定价:46.00 元

前 言

现代局部战争对装备保障的依赖性越来越大。装备复杂程度越高,保障越困难,保障性已成为装备形成作战能力和降低寿命周期费用的关键因素。装备保障性是从用户和使用角度出发提出的与保障有关的质量特性的综合度量,已成为装备性能的重要组成部分。实现保障性目标,已成为装备全系统全寿命管理的重要工作内容。保障性包括了可靠性与维修性等要素。

可靠性工程是在产品全寿命过程中同故障作斗争的工程技术,其实质就是研究产品故障的发生、发展,故障发生后的修理、保障,以及如何预防故障的发生,直至消灭故障的过程,以达到提高产品的战备完好性和任务成功性,减少维修人力和保障费用的目的。

作为工程应用性的学科,装备可靠性与综合保障包含了为获取所需的可靠性、维修性、保障性特性所进行的一系列设计、研制、生产、使用和保养、修理等各种工作,涉及相关广泛的专业内容。本书根据系统理论,认真地总结了我国装备发展建设的工程实践经验,积极地吸收国内相关研究成果和国外最新的理论和方法,建立了适合于我国实际的装备可靠性与综合保障的理论结构框架。在此基础上,系统、全面地论述了在装备研制、生产与使用过程中,各项装备可靠性与综合保障的工程技术和活动。全书共分 10 章:

第 1 章绪论,在介绍我国可靠性工程发展历程的基础上,指出了可靠性在现代装备研制中的重要地位,同时阐明了综合保障的特点及其与可靠性、维修性等工程专业的关系。

第 2 章装备的可靠性参数及指标,给出了常用的可靠性参数及其分类、参数选择和指标确定的依据,并列举了国外若干武器装备的可靠性参数和指标。

第 3 章系统可靠性模型的建立与分析,介绍了几种典型的可靠性模型,并给出了建立系统可靠性模型的程序以及选择可靠性模型的原则。

第 4 章可靠性预计与分配,给出了可靠性分配的准则和主要方法,可靠性预计的主要方法。

第 5 章可靠性设计分析技术,介绍了两种可靠性分析技术——故障模式影响及危害性分析(FMECA)和故障树分析(FTA),并论述了常用的可靠性设计方法和准则,包括降额设计、简化设计、余度设计、耐环境设计、热设计、健壮设计等。

第 6 章可靠性试验与鉴定,在介绍了可靠性试验的特点及分类的基础上,论述了可靠寿命试验、可靠性抽样检验、可靠性筛选试验、加速寿命试验、可靠性增长试验的设计和

数据分析方法。

第7章维修性设计与分析,介绍了维修性的基本概念和常用的维修性模型,在此基础上,论述了维修性预计与分配方法、维修性设计技术以及维修性验证与评定方法,最后介绍了以可靠性为中心的维修(RCM)的基本思想及实现过程。

第8章安全性分析,给出了安全性分析的基本概念、安全性分析的事故机理、危险分析方法以及软件安全性分析技术。

第9章保障系统设计,论述了规划保障的基本概念、规划保障资源的概念以及保障系统的形成过程。

第10章综合保障工程管理,主要论述保障性工程接口、保障性工程管理的办法、保障性工程的组织结构和专业人员配备、保障性工程的规划与控制、保障性工程的风险管理、保障性信息管理等。

本书以装备可靠性与综合保障为背景,既强调可靠性与综合保障理论的完备与深入,又力图做到工程实用。为了便于作为教材使用,书中大部分章节都配备了详细的例题和习题。参加编写工作的有:冯静(第7章)、孙权(第1、9章)、罗鹏程(第2、3、5章)、金光(第6、10章)、颜兆林(第4、8章),全书由冯静统稿。

本书撰写过程中,得到国防科技大学信息系统与管理学院系统工程系领导和同志们多方关怀,在此表示诚挚的谢意。潘正强、彭宝华、周忠宝、郑龙、刘强、张会、厉海涛、黄秀平、肖磊等研究生在书稿的整理方面做了大量工作,付出了艰辛劳动,在此,再次表示感谢。

装备综合保障是一门新兴的学科,有许多问题值得进一步研究,加之作者知识和经验的局限性,本书的缺点和错误在所难免,诚望读者提出宝贵意见,以利修正。

作者

2008年2月

目 录

第 1 章 绪 论

1.1 装备可靠性工程概述	(1)
1.1.1 可靠性与可靠性工程	(1)
1.1.2 其他相关学科的发展	(3)
1.1.3 我国可靠性工程的发展	(6)
1.2 可靠性在现代装备研制中的重要地位	(8)
1.2.1 可靠性、维修性和保障性是产品质量的重要特性	(8)
1.2.2 可靠性、维修性和保障性是制约装备效费比的重要因素	(8)
1.2.3 可靠性、维修性和保障性是产品的设计特性	(9)
1.2.4 可靠性工作的法规与标准	(9)
1.3 装备的保障与综合技术保障	(10)
1.3.1 装备系统和装备保障	(10)
1.3.2 装备保障问题的严重性	(12)
1.3.3 装备综合技术保障	(15)
1.4 装备可靠性工程与综合保障	(20)
1.4.1 综合保障与可靠性、维修性等专业工程的关系	(20)
1.4.2 综合保障的目标与基本内容	(20)
1.4.3 寿命周期各阶段综合保障的任务	(23)
1.4.4 综合保障的特点	(27)

第 2 章 装备的可靠性参数及指标

2.1 可靠性及其度量	(29)
2.1.1 产品的可靠性	(29)
2.1.2 可靠度函数及累积故障分布函数	(30)
2.1.3 故障率	(33)
2.1.4 平均故障前时间与平均故障间隔时间	(39)
2.2 常用的可靠性参数及其分类	(41)

2.2.1	常用的可靠性参数	(41)
2.2.2	参数的分类	(43)
2.3	可靠性参数与指标的特点	(45)
2.4	参数选择和指标确定的依据和要求	(45)
2.4.1	参数选择的依据	(45)
2.4.2	指标确定的依据	(46)
2.4.3	参数、指标确定的程序	(46)
2.5	参数及其量值的转换	(47)
2.5.1	参数及其量值转换模型	(47)
2.5.2	保证参数量值转换正确性的基本要素	(49)
2.6	国外若干武器装备的可靠性参数和指标	(49)
	习 题	(53)

第3章 系统可靠性模型的建立与分析

3.1	概述	(56)
3.1.1	建立可靠性模型的目的和用途	(56)
3.1.2	可靠性框图和工作原理图	(56)
3.2	几种典型的可靠性模型	(59)
3.2.1	串联系统模型	(59)
3.2.2	并联系统模型	(61)
3.2.3	混联系统模型	(62)
3.2.4	$r/n(G)$ 模型	(63)
3.2.5	非工作贮备模型	(65)
3.2.6	网络系统模型	(66)
3.3	基本可靠性模型和任务可靠性模型	(73)
3.3.1	基本可靠性模型	(73)
3.3.2	任务可靠性模型	(74)
3.4	建立系统可靠性模型的程序	(75)
3.4.1	确定产品定义	(75)
3.4.2	建立任务可靠性框图	(77)
3.4.3	建立相应的数学模型	(77)
3.4.4	建模工作的注意事项	(77)

3.5 选择可靠性模型的原则	(77)
习 题.....	(80)
第4章 可靠性预计与分配	(85)
4.1 可靠性分配	(85)
4.1.1 可靠性分配的目的和依据	(85)
4.1.2 可靠性分配的准则	(86)
4.1.3 可靠性分配方法	(86)
4.2 可靠性预计	(97)
4.2.1 可靠性预计的目的与意义	(97)
4.2.2 可靠性预计的方法	(97)
习 题.....	(102)
第5章 可靠性设计分析技术	
5.1 故障模式影响及危害性分析	(103)
5.1.1 概述	(103)
5.1.2 故障模式影响分析	(104)
5.1.3 危害性分析	(109)
5.1.4 确定重要件和关键件	(112)
5.1.5 进行 FME(C)A 应注意的问题	(113)
5.1.6 应用实例	(115)
5.2 故障树分析	(119)
5.2.1 概述	(119)
5.2.2 故障树的建造	(120)
5.2.3 故障树的数学描述	(128)
5.2.4 故障树的定性分析	(133)
5.2.5 故障树定量化计算	(139)
5.2.6 故障树的简化	(148)
5.2.7 重要度及其在设计中的应用	(155)
5.2.8 FTA 法的评价	(158)
5.2.9 FTA 法的应用实例	(158)
5.3 可靠性设计方法	(164)

5.3.1	概述	(164)
5.3.2	制定和贯彻可靠性设计准则	(165)
5.3.3	可靠性设计的主要准则	(166)
5.3.4	降额设计	(171)
5.3.5	简化设计	(171)
5.3.6	余度设计	(172)
5.3.7	耐环境设计	(174)
5.3.8	热设计	(175)
5.3.9	健壮设计	(176)
	习 题	(187)

第 6 章 可靠性试验与鉴定

6.1	可靠性试验概述	(190)
6.1.1	可靠性试验的目的	(190)
6.1.2	可靠性试验的特点	(190)
6.1.3	可靠性试验的分类	(190)
6.2	可靠性寿命试验	(192)
6.2.1	寿命试验的目的	(192)
6.2.2	寿命试验的分类	(192)
6.2.3	寿命试验的设计	(193)
6.2.4	寿命试验数据的统计分析	(196)
6.3	可靠性抽样检验	(202)
6.3.1	计数抽样检验	(202)
6.3.2	指数分布的寿命抽样方案	(210)
6.3.3	指数分布的计量一次抽样检验	(215)
6.4	可靠性筛选试验	(219)
6.4.1	可靠性筛选的意义	(219)
6.4.2	筛选时间的确定	(221)
6.5	加速寿命试验	(224)
6.5.1	加速寿命试验和失效物理	(224)
6.5.2	加速寿命试验实施的基本结论	(226)
6.5.3	加速寿命试验中的参数估计问题	(226)

6.6	可靠性增长试验	(230)
6.6.1	可靠性增长趋势的检验方法	(231)
6.6.2	Duane 模型与分析	(236)
6.6.3	AMSAA 模型与分析	(242)
	习 题	(250)
 第 7 章 维修性设计与分析		
7.1	概述	(252)
7.1.1	维修性的基本概念	(252)
7.1.2	维修性的主要度量指标	(253)
7.1.3	维修活动的分类	(255)
7.1.4	装备的维修级别	(257)
7.2	系统维修性模型的建立与分析	(258)
7.2.1	维修性函数	(259)
7.2.2	维修性模型中常用的统计分布	(260)
7.2.3	可用度函数	(267)
7.3	维修性预计与分配	(271)
7.3.1	维修性分配	(271)
7.3.2	维修性预计	(277)
7.4	系统维修性设计	(279)
7.4.1	设计检查一览表	(280)
7.4.2	封装结构设计	(281)
7.4.3	人机系统设计	(282)
7.4.4	安全性	(283)
7.4.5	测试与检查	(284)
7.5	维修性验证与评定	(286)
7.5.1	概述	(286)
7.5.2	维修性试验与评定的程序	(287)
7.5.3	故障的模拟与样本的分配方法	(289)
7.5.4	维修性试验方案的设计	(290)
7.6	以可靠性为中心的维修(RCM)	(293)
7.6.1	RCM 的基本思想	(293)

7.6.2 系统的 RCM 分析	(296)
习 题	(299)
第 8 章 安全性分析	
8.1 概述	(302)
8.1.1 基本概念	(302)
8.1.2 安全性参数	(303)
8.1.3 安全性指标	(304)
8.1.4 系统安全性与技术安全	(304)
8.1.5 系统安全性与其他学科	(305)
8.2 安全性分析的事故机理	(307)
8.2.1 危险、危险因素和事故	(307)
8.2.2 事故机理	(308)
8.2.3 基于事故机理的安全性分析框架	(309)
8.3 危险分析方法	(311)
8.3.1 初步危险表	(311)
8.3.2 初步危险分析	(311)
8.3.3 分系统危险分析	(314)
8.3.4 系统危险分析	(314)
8.3.5 事件树分析	(315)
8.3.6 主逻辑图与功能事件序列图	(317)
8.3.7 危险与运行性分析	(321)
8.4 软件安全性分析	(328)
8.4.1 软件安全性基本概念	(328)
8.4.2 软件不安全的原因	(329)
8.4.3 软件开发各阶段的安全性工作	(330)
8.4.4 软件安全性分析过程	(332)
8.4.5 软件安全性分析技术	(335)
习 题	(339)

第9章 保障系统设计

9.1 规划保障	(340)
9.1.1 装备保障的基本概念	(340)
9.1.2 规划保障的基本概念	(342)
9.1.3 规划保障的程序	(344)
9.1.4 规划保障数据输入和研制各阶段的工作	(348)
9.1.5 规划保障时应考虑的问题	(348)
9.1.6 制定和优化保障方案的主要保障性分析工作项目	(349)
9.2 规划保障资源	(362)
9.2.1 保障资源要求形成的一般过程	(362)
9.2.2 规划人力与人员	(365)
9.2.3 规划供应保障	(367)
9.2.4 规划保障设备	(372)
9.2.5 规划技术资料	(375)
9.2.6 规划训练与训练保障	(378)
9.2.7 规划保障设施	(381)
9.2.8 规划包装、装卸贮存和运输(PHS&T)保障	(383)
9.2.9 规划计算机资源保障	(385)
9.3 保障系统的形成	(386)
9.3.1 保障系统的内涵	(386)
9.3.2 保障系统形成的过程	(386)

第10章 综合保障工程管理

10.1 综合保障工程的接口	(389)
10.1.1 综合保障工程接口的概念与分类	(389)
10.1.2 综合技术保障要素之间的接口	(390)
10.1.3 工程学科之间的接口	(391)
10.1.4 承制方内部的接口	(394)
10.1.5 承制方与订购方及供应方的接口	(396)
10.2 综合保障工程管理的方法	(397)
10.2.1 系统工程管理	(397)

10.2.2	并行工程	(406)
10.3	综合保障工程的组织机构和专业人员的配备	(412)
10.3.1	综合保障工程组织机构	(412)
10.3.2	承制方与供应方综合技术保障的组织结构形式	(416)
10.3.3	产品综合工作组的组织方法	(420)
10.3.4	综合保障工程专业人员的配备	(423)
10.4	综合保障工程的规划与控制	(425)
10.4.1	综合保障工程的规划	(425)
10.4.2	综合保障工程的控制	(440)
10.4.3	装备由生产向作战使用转移的控制	(444)
10.5	综合保障工程的风险管理	(448)
10.5.1	风险和风险管理的概念	(448)
10.5.2	综合保障工程的风险与控制	(451)
10.5.3	综合保障风险管理	(454)
10.6	综合保障信息管理	(460)
10.6.1	综合保障信息管理概述	(460)
10.6.2	全寿命信息管理	(463)
10.6.3	综合保障信息系统	(471)
附 录	(479)
参考文献	(488)

第 1 章 绪 论

1.1 装备可靠性工程概述

1.1.1 可靠性与可靠性工程

从工程的角度出发,可靠性(Reliability)可直观定义为产品无故障完成任务的能力。

从统计学的角度出发,在 1957 年美国电子设备可靠性咨询组发表的报告中把可靠性定义为“在规定的的时间和给定的条件下,无故障完成规定功能的概率”,即可靠度。我国国军标 GJB451 - 90 把可靠性定义为“产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力”。可靠性的概率度量亦称可靠度。20 世纪 90 年代之后,可靠性的概念有了新的发展。1991 年,美国国防部指令 DoD D5000.2《国防采办管理政策和程序》把可靠性定义为“系统及其组成部分在无故障、无退化或不要求保障系统的情况下执行其功能的能力”。

从应用的角度出发,可靠性可分为固有可靠性和使用可靠性。前者仅考虑承制方在设计和生产中能控制的故障事件,用于描述产品的设计和制造的可靠性水平;后者综合考虑产品设计、制造、安装环境、维修策略和修理等因素,用于描述产品在计划环境中使用的可靠性水平。

从设计的角度出发,可靠性可分为基本可靠性及任务可靠性。前者考虑要求保障的所有故障的影响,用于度量产品无需保障的工作能力,包括与维修和供应有关的可靠性,通常用平均故障间隔时间(MTBF)来度量;后者仅考虑造成任务失败的故障影响,用于描述产品完成任务的能力,通常用任务可靠度(MR)和致命性故障间隔任务时间(MTBCF)来度量。

可靠性的概念最早来源于航空领域。在两次世界大战期间,飞机已成为一种交通工具,空中飞行事故不断增加,要求计算飞机发动机故障的概率以及在一段飞行时间内不发生故障的概率,这便是可靠性的初始概念。第二次世界大战期间,德国 V1 火箭研制中提出并运用了串联系统可靠性乘积定律,其可靠度达 0.75,因此,V1 火箭成为第一个在研制后期运用系统可靠性理论的飞行器。

20 世纪 40 年代是可靠性工程发展的萌芽时期,雷达等各种复杂电子设备相继出现,电子设备的可靠性问题严重地影响了武器装备的效能。在第二次世界大战期间,美国 60%的机载电子设备运到远东后不能使用,50%的电子设备在储存期间失效,其主要原因是电子管的可靠性太差。1943 年,美国成立了电子管研究委员会,专门研究电子管的可

靠性问题。这时,主要是通过采用新材料及新工艺、发展质量控制及检验统计技术来提高电子管的可靠性。

20世纪50年代是可靠性工程兴起和形成的年代。为解决军用电子设备和复杂导弹系统的可靠性问题,美国军方及工业界有组织地开展可靠性研究,1951年美国航空无线电公司(ARINC)开始了最早的一个可靠性改进计划“ARINC军用电子管计划”;1952年美国国防部成立了一个由军方、工业部门和学术界组成的电子设备可靠性咨询组(AGREE);1955年AGREE开始实施一个从设计、试验、生产到交付、储存和使用的全面的可靠性发展计划,并于1957年发表了“军用电子设备可靠性”的研究报告,该报告从9个方面阐述了可靠性设计、试验及管理的程序及方法,确定了美国可靠性工程发展的方向,成为可靠性发展的奠基性文件,标志着可靠性已成为一门独立的学科,是可靠性工程发展的重要里程碑。

20世纪60年代是可靠性工程全面发展的阶段,也是美国武器系统研究全面贯彻可靠性大纲的年代。在这十年中,美国先后研制出F-111A、F-15A战斗机,M1坦克,“民兵”导弹,“水星”和“阿波罗”宇宙飞船等装备,这些新一代装备对可靠性提出了严格要求。因此,1957年AGREE报告提出的一整套可靠性设计、试验及管理方法被国防部及国家航空航天局(NASA)接受,在新研制的装备中得到广泛应用并迅速发展,形成一套较完善的可靠性设计、试验和管理标准,如MIL-HDBK-217、MIL-STD-781和MIL-STD-785。在这些新一代装备的研制中,都不同程度地制订了较完善的可靠性大纲、规定定量的可靠性要求、进行可靠性分配及预计、开展故障模式及影响分析(FMEA)和故障树分析(FTA)、采用余度设计、开展可靠性鉴定试验、验收试验和老炼试验、进行可靠性评审等,使这些装备的可靠性有了大幅度提高,例如,50年代的“先驱者”号卫星发射11次,但只有3次成功,而60年代研发的“阿波罗”登月舱,除“阿波罗”13以外,每次发射都成功地着陆在月球上并安全返回。在这十年中,美、法、日及苏联等工业发达的国家也相继开展可靠性研究。

20世纪70年代是可靠性发展步入成熟的阶段。在这十年中,尽管美国及许多资本主义国家都遇到了经济困难、军费紧缩的难题,但是可靠性作为降低武器系统寿命周期费用的一种有效工具却得到了进一步发展。这一阶段的主要特点是:建立集中统一的可靠性管理机构,负责组织、协调国防部范围内的可靠性政策、标准、手册和重大研究课题;成立全国性的数据交换网,加强政府机构与工业部门之间的技术信息交流;制定出一套较完善的可靠性设计、试验及管理的方法及程序。为解决复杂武器系统投入外场使用后出现的战备完好性低和使用保障费用高的问题,从型号项目论证开始就强调可靠性设计,通过加强元器件控制,采用更严格的降额及热设计;强调环境应力筛选、可靠性增长试验和综合环境应力的可靠性试验;推行可靠性奖惩合同等一系列措施来提高武器装备的可靠性。美国空军的F-16A和海军的F/A-18A战斗机、陆军的M1主战坦克和英国皇家空军的“隼”式教练攻击机的研制都体现了70年代的特点。

20世纪80年代以来,可靠性工程向着更深、更广的方向发展。在发展策略上,把可靠性和维修性作为提高武器装备战斗力的重要工具,使可靠性置于与武器装备性能、费用和进度同等重要的地位;在管理上,加强集中统一管理,强调可靠性及维修性管理应当制

度化,为此,美国国防部于1980年首次颁发可靠性及维修性指令 DoD D5000.40《可靠性及维修性》;在技术上,深入开展软件可靠性、机械可靠性以及光电器件可靠性和微电子器件可靠性等方面的研究,全面推广计算机辅助设计(CAD)技术在可靠性领域的应用,积极采用模块化、综合化、容错设计、光导纤维和超高速集成电路等新技术来全面提高现代武器系统的可靠性。1985年,美国空军推行了“可靠性及维修性2000年行动计划”(R&M2000),该计划从管理入手,依靠政策和命令来促进空军领导机关对可靠性工作的重视,加速观念转变,使可靠性工作在空军部门形成制度化,以最终实现提高武器装备作战能力,改善生存性、减少空军部队部署的运输量、降低维修保障人力要求和保障费用等5项目标。经过近6年的努力,在1991年海湾战争中,美国空军的行动计划已见成效,F-16C/D及F-15E战斗机的战备完好性(能执行任务率)都超过了95%。

可靠性的发展在近半个世纪中大致经历了如下重大的变化和发展:

(1)从重视武器装备性能、轻视可靠性,转变为树立可靠性与性能、费用及进度同等重要的观念,实现了观念转变。

(2)从分散管理、部门负责到集中统一领导,成立由副司令、副总裁直接领导的可靠性机构,完善了管理体系。

(3)从电子管失效机理研究到开发超高速集成电路,使电子元器件可靠性指标每年平均约以20%的速度在提高。

(4)从电子设备的可靠性研究开始到重视机械设备、光电设备及其他非电子设备的可靠性研究,全面提高武器装备的可靠性。

(5)从硬件可靠性研究到重视软件可靠性研究,确保大型先进复杂系统的可靠性。

(6)从宏观统计估算到微观分析计算,更准确地确定产品的故障模式、可靠性及寿命。

(7)从手工定性的可靠性分析设计到计算机辅助可靠性分析设计,大大提高分析设计精度、缩短分析设计时间。

(8)从重视可靠性统计试验到强调可靠性工程试验,通过环境应力筛选及可靠性增长试验来暴露产品故障,进而提高产品的可靠性。

(9)从单个可靠性参数指标发展到多个参数和指标,建立完善的可靠性参数和指标体系。

(10)从以固有值作为武器系统的可靠性指标到强调以使用值作为指标,确保投入外场使用的武器装备具有规定的可靠性水平。

1.1.2 其他相关学科的发展

维修性(Maintainability)指的是产品维修的难易程度,是产品设计赋予的一种固有属性。它通常定义为“产品在规定的条件下和规定的时间内,按规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到其规定状态的能力”。维修性的概率度量亦称维修度。因此,维修性是产品的设计特性,直接影响产品的维修工作量。它可用定性及定量的特性来描述。定性特性包括可达性、可修性、易修性和与维修有关的人为因素等。这些特性影响到维修人员的数量、技术等级和专业种类、维修测试设备以及所需的维修工时、费用等。定量特性包

括维修时间参数,如平均修复时间(MTTR)、平均预防性维修时间(MPMT)和平均不能工作时间(MDT);维修工时率参数,如每工作小时的维修工时(MMH/OH)等。

从武器装备战备完好性及寿命周期费用的观点出发,仅提高可靠性不是一种最有效的方法,必须综合考虑可靠性及维修性才能获得最佳的结果。20世纪50年代,随着军用电子设备复杂性的提高,武器装备的维修工作量大、费用高,大约每250个电子管就需要一个维修人员,美国国防部每天要花费2500万美元用于各种武器装备的维修,每年约花费90亿美元,占国防预算的25%。因此,维修问题引起了美国军方的重视。50年代后期,美国罗姆航空发展中心及航空医学研究所等部门开展了维修性设计研究,提出了设置电子设备维修检查窗口、测试点、显示及控制器等措施,从设计上改进电子设备的维修性,并出版了有关的报告和手册,为以后的维修性标准的制定打下了基础。

20世纪60年代,各种晶体管及固态电路相继取代了电子管,使军用电子设备的维修性有了显著改善,然而,由于军用电子设备的复杂性迅速增长,维修性仍是军方研究的重要课题。其研究重点转入维修性定量度量方法,提出了以维修时间作为维修性的定量度量参数。通过对维修过程的分析,把维修时间作为维修性的定量度量参数。通过对维修过程的分析,把维修时间进一步分为不能工作时间、修理时间和行政延误时间等时间单元,并指出对大部分设备而言,维修时间服从对数正态分布,提出了将维修时间分布的平均值和90%(或95%)的百分位值作为维修性的度量参数,为定量预计武器装备的维修性、控制维修性设计过程、验证维修性设计结果奠定了基础。在这些研究的基础上,美国海军、空军分别制定了武器装备的管理、验证和预计规范,来保证所研制的武器装备具有要求的维修性。1966年,美国国防部先后颁发了MIL-STD-470《维修性大纲要求》、MIL-STD-471《维修性验证、演示和评估》和MIL-HDBK-472《维修性预计》等三个维修性文件。这三个文件的颁发和实施标志着维修性已成为一门独立的学科,与可靠性并驾齐驱。

20世纪70年代,随着半导体集成电路及数字技术的迅速发展,军用电子设备的设计及维修任务产生了很大变化,设备自测试、机内测试(BIT)、故障诊断的概念及重要性引起了设备设计师及维修性工程师的关注;设备维修的重点已从过去的拆卸及更换转到故障检测和隔离。因此,故障诊断能力、机内测试成为维修性设计的重要内容。机内测试技术相继在航空电子设备和其他军用电子设备中得到应用,成为改善航空电子设备维修性的重要途径。1975年,由F.Ligour等人提出了测试性的概念,并在诊断电路设计等领域得到应用,随后便引起美英等国军方的重视。

测试性(Testability)定义为“系统及设备能及时、准确地确定其工程状态(可工作、不可工作或工作性能下降)并隔离其内部故障的一种设计特性”。它与维修性及可靠性密切相关,因为具有良好测试的设备将减少故障检测及隔离时间,进而减少维修时间,改善维修性;任何不能被检测出的故障状态的存在将直接影响装备的可靠性,通过采用测试性好的设备可及时检测出故障,排除故障,进而提高系统的使用可靠性。测试性通常用故障检测率(FDR)、故障隔离率(FIR)和虚警率(FAR)度量。

美国国防部联合后勤司令部于1978年设立测试性技术协调组来负责国防部测试性研究计划的组织、协调和实施。同年12月,美国国防部颁发的MIL-STD-471A通告2