

可靠性·维修性·保障性技术丛书 ④

丛书主编 王自力

RIMS

可靠性 与寿命试验

Reliability and Life Test

主编 姜同敏

Reliability
Maintainability
Supportability



国防工业出版社
National Defense Industry Press

可靠性·维修性·保障性技术丛书

可靠性与寿命试验

Reliability and Life Test

主 编 姜同敏

副 主 编 王晓红

编写组成员(按姓氏笔画排序)

李志强 李晓阳 袁宏杰

湖北工业大学图书馆



01321204



国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系统地介绍了可靠性与寿命试验的基本概念、实施过程、试验条件,以及环境应力筛选、可靠性研制试验、可靠性增长试验、可靠性验证试验和寿命试验等各类可靠性与寿命试验技术的理论和方法。为了使广大读者了解和掌握当前世界可靠性与寿命试验技术发展的新动向,本书还介绍了可靠性强化试验、加速寿命试验、加速退化试验和可靠性虚拟试验等新的试验技术的理论和方法。为了便于这些理论和方法的工程应用,还列举了具体的工程应用实例。

本书可供从事可靠性与寿命试验技术研究和应用的工程技术人员学习和参考,也可以作为大学本科生和研究生学习参考书,还可以作为培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

可靠性与寿命试验/姜同敏主编. —北京:国防工业出版社,2012.3

(可靠性·维修性·保障性技术丛书)

ISBN 978-7-118-07943-2

I. ①可... II. ①姜... III. ①武器装备-可靠性
试验-研究 IV. ①TJ01

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第028832号

※

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100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 28 字数 510 千字

2012年3月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 69.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

《可靠性·维修性·保障性技术丛书》 编辑委员会

主任委员 王自力

副主任委员 康 锐 屠庆慈

委 员 (按姓氏笔画排序)

于永利	马 麟	石君友	田 仲	付桂翠
吕 川	吕明华	朱小东	刘 斌	刘春和
阮 镰	孙有朝	孙宇锋	李建军	宋晓秋
陆民燕	陈 新	罗汉生	金惠华	房祥忠
赵 宇	赵廷弟	姜同敏	章国栋	曾天翔
曾声奎	曾曼成	徐居明	戴慈庄	

1995年,国防科技及教育界著名专家杨为民教授组织编辑出版了国内第一套《可靠性·维修性·保障性丛书》,对推动武器装备质量观念的转变,提高武器装备的可靠性、维修性、保障性水平,发挥了重要的推动作用。

15年后的今天,树立现代质量观,持续提高可靠性、维修性、保障性水平,已成为武器装备建设与国防科技发展中的共识,特别是《武器装备质量管理条例》的颁布实施,表明可靠性、维修性、保障性在现代质量观中具有战略性、全局性和基础性的地位和作用,高可靠、长寿命、好维修、易测试、能保障、保安全已成为武器装备研制、生产和使用中的普遍要求,可靠性、维修性、保障性工程活动已全面进入武器装备寿命周期各阶段,为提高武器装备的效能、降低寿命周期费用发挥了不可替代的作用。

在上述背景下,在武器装备建设与国防科技发展中,无论在技术上还是在管理上,都对可靠性、维修性、保障性提出了更高的要求。为适应这种新形势,我们组织有关专家重新编辑出版了这套《可靠性·维修性·保障性技术丛书》,共12册,以满足广大工程技术和管理人员的迫切需求。

本套丛书认真总结了15年来国内外武器装备可靠性、维修性、保障性最新实践经验,全面吸收了我国在预先研究和技术基础研究领域中取得的主要研究成果,从装备、系统、设备、元器件等多个产品层次和硬件、软件等不同产品类别,可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性等多种质量特性,以及论证、研制、生产和使用与保障等寿命周期各阶段,全方位地论述了相关领域的基本概念、技术方法、实践经验及发展方向,具有系统性、实用性和前瞻性,从而有助于读者全面、系统地了解 and 掌握该项技术的全貌。本套丛书阐述的可靠

性、维修性、保障性理论与技术,对武器装备和一般民用工业产品均具有普遍的适用性。

《可靠性·维修性·保障性技术丛书》是一套理论与工程实践并重的著作,它不仅可以为广大工程技术和管理人员提供有用的指导和参考,也可作为有关工程专业本科生、研究生的教学参考书。我们相信,这套丛书的出版,对我国武器装备可靠性、维修性、保障性工程的全面深入发展将起到重要的推动和促进作用。

丛书编辑委员会

2010年12月

产品的可靠性是设计和制造出来的,也是试验出来的。可靠性与寿命试验工作贯穿于产品的全寿命周期,是评价产品寿命与可靠性的一个重要手段,是可靠性工程的重要组成部分。可靠性试验是为了了解、评价、分析和提高产品的可靠性而进行的各种试验的总称。寿命试验是指为了测定产品在规定条件下的寿命所进行的试验。广义而言,寿命试验也属于可靠性试验,但寿命试验主要针对具有耗损特性的产品。

通过可靠性试验,可以发现产品在设计、材料和工艺等方面的缺陷,经分析和改进,使产品可靠性逐步得到增长,最终达到预定的可靠性水平;通过可靠性试验,还可以验证产品可靠性指标是否达到规定的要求,为评估产品的战备完好性、任务成功性、维修人力费用和保障资源费用提供信息。通过寿命试验,可以验证产品在规定条件下的使用寿命、储存寿命;通过寿命试验,还可以发现设计中可能过早发生耗损故障的零部件,并确定故障的根本原因和可能采取的纠正措施。

可靠性与寿命试验技术是从 20 世纪 50 年代初开始发展起来的,最早应用于军工产品,至今已在航空、航天、电子、汽车、计算机等行业得到了广泛应用。可靠性与寿命试验技术从诞生至今,经历了从传统的模拟试验到激发试验的发展历程。模拟试验是模拟产品真实使用条件的试验技术,包括可靠性增长摸底试验、可靠性增长试验、可靠性鉴定试验、可靠性验收试验和寿命试验等。随着科学技术的发展,产品耐环境能力的增强,可靠性及寿命的提高,使得传统的模拟可靠性与寿命试验技术已经远远不能满足产品发展的需求。激发试验突破了模拟试验的思路,采用人为施加较真实使用条件更严酷应力的方法,加速激发潜在的缺陷,经分析改进提高产品可靠性。激发试验代表了可靠性与寿命试验技术的发展方向。高加速应力筛选、可靠性强化试验(或高加速寿命试验)、加速

寿命试验和加速退化试验等均属于激发试验。另外,随着计算机技术的飞速发展,可靠性虚拟试验技术也开始在工程上得到应用。编写本书的出发点是为从事可靠性与寿命试验技术研究和应用的工程技术人员提供参考,也可以作为大学本科和研究生的教学参考书,希望能在促进我国可靠性与寿命试验技术的发展方面做些有益的工作。

本书是在多年从事科研、教学和型号工作的基础上,吸收国内外可靠性与寿命试验技术研究成果,参考有关标准、文献编写而成。本书系统地介绍了可靠性与寿命试验的基本概念、实施过程、试验条件,以及各类可靠性与寿命试验技术的理论和方法。为使广大读者了解和掌握当前世界可靠性与寿命试验发展的新动向,本书重点介绍了可靠性强化试验、加速寿命试验、加速退化试验和可靠性虚拟试验等新的试验技术的理论和方法。另外,在编写过程中,还介绍了可靠性与寿命试验技术在可靠性工程中的应用,并列出了具体的工程应用实例。

本书共分 11 章。第 1 章绪论,介绍了可靠性与寿命试验的基本概念、分类及发展状况。第 2 章可靠性试验的实施,介绍了可靠性试验前应具备的条件、可靠性试验中的实施要求以及可靠性试验后的工作内容。第 3 章试验条件,介绍了试验剖面的设计技术。第 4、5、6、7 章分别阐述了环境应力筛选、可靠性研制试验、可靠性增长试验、可靠性验证试验。第 8 章寿命试验,介绍了几种寿命试验方法和寿命评估方法。第 9 章加速试验技术,比较全面的介绍了加速寿命试验和加速退化试验技术的理论和方法。第 10 章可靠性虚拟试验,介绍了可靠性虚拟试验的原理及实施方法等。第 11 章外场可靠性试验,介绍了外场可靠性试验的实施过程和方法。

参加编写工作的有:姜同敏(第 1、2、4、7、8、11 章)、王晓红(第 5、6 章)、袁宏杰(第 3 章)、李晓阳(第 9 章)、李志强(第 10 章)。全书由姜同敏主编,吕明华研究员和康锐教授主审。此外,孙富强、葛蒸蒸、王立志、党香俊、王立、张京蕊、万俊波等参加了查阅资料和部分章节初稿的编写工作,任锦胜、李士强、何宾、王凤金、谢章用等参加了校对工作。在编写过程中,参考了大量国内外文献,已在参考文献中列出,在此一并表示感谢。

由于可靠性与寿命试验技术尚在发展之中,加之编者水平有限,书中有错误和疏漏之处,恳请广大读者谅解和指正。

编者

2011 年 12 月

第1章 绪论	1
1.1 可靠性与寿命试验的概念	1
1.2 可靠性与寿命试验的分类	2
1.3 可靠性与寿命试验国内外发展状况	5
1.3.1 模拟试验国内外发展状况	6
1.3.2 激发试验国内外发展状况	9
1.3.3 可靠性虚拟试验国内外发展状况	13
参考文献	16
第2章 可靠性试验的实施	21
2.1 概述	21
2.2 试验实施要求	22
2.2.1 试验场所选取要求	22
2.2.2 可靠性鉴定试验方案、试验大纲和试验程序	23
2.2.3 受试产品	23
2.2.4 试验设备和检测仪器	23
2.2.5 受试产品检测要求	24
2.2.6 试验条件	25
2.2.7 故障	26
2.2.8 试验的组织机构	29
2.3 试验实施过程	29
2.3.1 试验前应完成的工作	29
2.3.2 试验运行中的有关工作	40
2.3.3 试验后有关工作	43
参考文献	45

第3章 试验条件	46
3.1 概述	46
3.1.1 试验应力及影响	47
3.1.2 选择试验条件考虑的因素	51
3.2 试验条件设计	52
3.2.1 试验应力的选择	52
3.2.2 试验应力的确定准则	54
3.2.3 试验应力的施加方式	54
3.2.4 关于几个剖面的概念	55
3.3 基于参考应力的综合试验剖面设计	57
3.3.1 确定任务剖面	58
3.3.2 确定环境剖面	59
3.3.3 确定单一任务的试验剖面	67
3.3.4 确定多个任务的综合试验剖面	72
3.4 基于实测振动环境的振动试验剖面设计	75
3.4.1 测量规划	75
3.4.2 数据预处理	77
3.4.3 数据分离与检验	81
3.4.4 时域分析	83
3.4.5 频域分析	87
3.4.6 数据归纳	91
参考文献	96
第4章 环境应力筛选	98
4.1 概述	98
4.1.1 基本概念	98
4.1.2 环境应力筛选方法	99
4.1.3 设计基本准则和基本特性	99
4.1.4 产品各组装等级的环境应力筛选	101
4.2 环境应力筛选激发的产品缺陷	102
4.2.1 产品缺陷	102
4.2.2 影响产品中缺陷数量的因素	102
4.2.3 筛选中发现的典型缺陷	103

4.3	典型环境应力	104
4.3.1	恒定高温	105
4.3.2	温度循环	106
4.3.3	温度冲击	108
4.3.4	扫频正弦振动	109
4.3.5	随机振动	110
4.3.6	各种环境应力筛选效果比较	112
4.4	常规环境应力筛选方法	112
4.4.1	常规环境应力筛选大纲	114
4.4.2	常规筛选大纲的设计程序	115
4.4.3	常规筛选大纲实施的一般要求	116
4.4.4	常规筛选的实施过程	120
4.4.5	实施要求	122
4.4.6	应用实例	123
4.5	定量环境应力筛选方法	124
4.5.1	概述	124
4.5.2	定量筛选大纲的设计程序	126
4.6	高加速应力筛选方法	128
4.6.1	概述	128
4.6.2	高加速应力筛选剖面设计方法	129
	参考文献	133
第5章	可靠性研制试验	134
5.1	概述	134
5.1.1	目的和基本要求	134
5.1.2	与可靠性增长试验的区别	135
5.1.3	可靠性研制试验的分类	135
5.2	可靠性增长摸底试验	136
5.2.1	试验对象及其应具备的状态	136
5.2.2	试验时机	136
5.2.3	试验时间	136
5.2.4	试验剖面	137
5.2.5	故障处理	137

5.2.6	应用实例	137
5.3	可靠性强化试验	139
5.3.1	概述	139
5.3.2	可靠性强化试验技术特点	144
5.3.3	可靠性强化试验实施方法	147
5.3.4	故障处理及回归验证	155
5.3.5	应用实例	156
	参考文献	160
第6章	可靠性增长试验	161
6.1	概述	161
6.1.1	可靠性增长	161
6.1.2	可靠性增长管理	162
6.1.3	可靠性增长试验	163
6.2	可靠性增长试验的实施要求	164
6.2.1	实施时机	164
6.2.2	适用对象	164
6.2.3	试验时间	164
6.2.4	试验剖面	164
6.2.5	受试产品	165
6.2.6	故障分类	165
6.3	常用的可靠性增长模型	166
6.3.1	Duane 模型	167
6.3.2	AMASS 模型	170
6.3.3	Gompertz 模型	172
6.3.4	3种模型的对比和选用原则	173
6.4	Duane 模型可靠性增长曲线	174
6.4.1	计划增长曲线 M_0	174
6.4.2	计划的瞬时增长曲线 M'_0	178
6.4.3	累积增长曲线 M_c	179
6.4.4	瞬时增长曲线 M'_c	179
6.5	Duane 模型的可靠性增长估计	179
6.5.1	绘制 Duane 增长曲线	179

6.5.2	参数估计	180
6.5.3	瞬时(当前)MTBF 的点估计	181
6.6	可靠性增长试验的跟踪与增长过程监控	182
6.6.1	TAAF 过程	182
6.6.2	故障处理	183
6.6.3	跟踪增长曲线	184
6.6.4	可靠性增长过程监控	184
6.7	可靠性增长试验实施过程	186
6.7.1	试验前应完成的工作	186
6.7.2	试验运行中的有关工作	187
6.7.3	试验后有关工作	188
6.8	应用实例	188
6.8.1	试验前应完成的工作	188
6.8.2	试验运行中的有关工作	190
6.8.3	试验后有关工作	190
	参考文献	194
第7章	可靠性验证试验	195
7.1	概述	195
7.2	抽样检验	196
7.2.1	抽样检验	196
7.2.2	抽样特性曲线及抽样风险	198
7.3	统计试验方案	200
7.3.1	产品寿命分布	200
7.3.2	有关参数	205
7.3.3	参数的确定原则	206
7.3.4	参数的确定方法	207
7.3.5	统计试验方案分类	207
7.3.6	方案类别的选择	210
7.3.7	选择方案时应考虑的因素	211
7.4	指数分布统计试验方案	211
7.4.1	定时截尾抽验方案	211
7.4.2	定数截尾抽验方案	225

7.4.3	序贯截尾抽验方案	230
7.4.4	全数试验方案	248
7.5	二项分布统计试验方案	248
7.5.1	定数截尾抽验方案	249
7.5.2	序贯截尾抽验方案	255
	参考文献	260
	附表 分位数表	261
第8章	寿命试验	264
8.1	概述	264
8.1.1	产品的寿命参数	264
8.1.2	寿命试验的分类	265
8.2	寿命试验方法	266
8.2.1	实验室使用寿命试验方法	266
8.2.2	与可靠性综合验证试验相结合的寿命试验方法 (综合验证试验方法)	275
8.2.3	实验室寿命试验与领先使用相结合的试验方法	286
8.2.4	储存寿命试验方法	289
8.3	寿命评估方法	292
8.3.1	现场信息法	292
8.3.2	工程分析法	299
8.3.3	最短寿命零部件法	301
	参考文献	302
第9章	加速试验技术	303
9.1	概述	303
9.1.1	加速试验的目的和分类	303
9.1.2	加速试验的应力施加方式	305
9.1.3	加速试验的原理——失效物理	306
9.2	加速试验的工作内容	307
9.2.1	试验前准备工作	307
9.2.2	试验具体实施	309
9.2.3	试验后处理工作	310
9.3	加速模型	311

9.3.1	物理加速模型	313
9.3.2	经验加速模型	316
9.3.3	统计加速模型	317
9.4	加速寿命试验(ALT)	319
9.4.1	概述	319
9.4.2	ALT 试验方法	319
9.4.3	指数分布加速寿命试验统计分析	321
9.4.4	威布尔分布加速寿命试验统计分析	331
9.5	加速退化试验(ADT)	346
9.5.1	概述	346
9.5.2	性能退化模型	347
9.5.3	恒定应力加速退化试验统计分析	353
	参考文献	355
	附表 相关系数显著性检验表	357
第 10 章	可靠性虚拟试验	358
10.1	概述	358
10.1.1	虚拟试验的概念	358
10.1.2	基于虚拟样机的产品开发技术	359
10.1.3	技术特点与应用前景	361
10.2	虚拟样机建模技术	362
10.2.1	计算机辅助工程(CAE)技术方法	362
10.2.2	基于可靠性虚拟试验的虚拟样机建模	364
10.2.3	电子设备结构 CAE 模型的处理技术	365
10.3	应力分析技术	368
10.3.1	有限单元法基础	368
10.3.2	热应力分析	371
10.3.3	结构应力分析技术	374
10.4	虚拟试验的故障分析与可靠性评估	385
10.4.1	电子产品故障及机理分析	385
10.4.2	电子产品虚拟评估方法	386
10.4.3	产品可靠性评估计算	387
10.4.4	物理原型验证	394

10.4.5	一体化设计评估流程	395
10.5	典型电子产品可靠性虚拟试验案例	395
10.5.1	试验方法与试验对象	395
10.5.2	可靠性虚拟试验流程	398
10.5.3	虚拟试验过程	398
	参考文献	409
第 11 章	外场可靠性试验	411
11.1	概述	411
11.1.1	外场可靠性试验的适用对象	411
11.1.2	外场可靠性试验的目的	411
11.1.3	外场可靠性试验的特点	412
11.1.4	外场可靠性试验的时机	413
11.2	外场可靠性验证试验的实施要求	415
11.2.1	技术状态	415
11.2.2	试验条件	415
11.2.3	试验时间	416
11.2.4	验证场地及验证方法	416
11.2.5	测试要求	417
11.2.6	验证大纲	417
11.2.7	验证计划	419
11.2.8	验证程序	419
11.2.9	评审	420
11.2.10	试验报告	420
11.3	军用飞机外场可靠性验证	420
11.3.1	验证的时机	420
11.3.2	受试飞机	420
11.3.3	样本量	420
11.3.4	验证前提条件	420
11.3.5	试验条件	421
11.3.6	组织机构	421
11.3.7	信息系统	421
11.3.8	预防性维修	421

11.3.9	故障判别准则	422
11.3.10	故障分类	422
11.3.11	故障统计	423
11.3.12	致命性故障的判别准则与统计	423
11.3.13	故障处理	424
11.3.14	信息收集	424
11.3.15	验证大纲	425
11.3.16	验证计划	426
11.3.17	验证程序	426
11.3.18	评审	428
11.3.19	试验报告	428
	参考文献	429