

可靠性增长试验

Reliability Growth Test

梅文华 编著 陈家鼎 审校



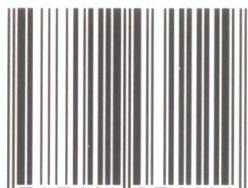
国防工业出版社

责任编辑 王坡麟

封面设计 李晓烽

Reliability Growth Test

ISBN 7-118-03111-9



9 787118 031119 >

ISBN 7-118-03111-9/TB·114

定价:25.00 元

可靠性增长试验

Reliability Growth Test

梅文华 编著

陈家鼎 审校

国防工业出版社

·北京·

可靠性增长试验

Reliability Growth Test

梅文华 编著 陈家鼎 审校

国防工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

可靠性增长试验/梅文华编著. —北京:国防工业出版社,2003.5

ISBN 7-118-03111-9

I.可... II.梅... III.可靠性试验-研究
IV.TB114.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第014936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 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 8½ 210千字

2003年5月第1版 2003年5月北京第1次印刷

印数:1-2500册 定价:25.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金 第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植				
顾问	黄宁				
主任委员	刘成海				
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋		
秘书长	张又栋				
委员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成	
(以姓氏笔划为序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生	
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同	
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇	
	崔尔杰	韩祖南	舒长胜		

序

在高技术产品研制过程的后期,可靠性增长试验是一项很重要的工作。众所周知,可靠性增长试验通常由若干个试验阶段组成,每个阶段都是对前一阶段出现的故障(或失效)进行分析,并针对设计、材料或工艺方面的问题提出改进措施后进行试验,以观察可靠性是否达到预定的高度。若未达到,还要进行下一阶段试验,使可靠性指标达到要求为止。很明显,这里有两个很重要又密切相关的问题:即如何安排(即设计)可靠性增长试验和如何对各阶段获得的数据进行综合分析以对最后阶段的可靠性指标进行评估?这两个问题都涉及各种产品的专业知识和技术,没有丰富的专业知识和工程经验是无法解决的。但应看到,尽管各种产品差异很大,研制工作有很大不同,但研制工作还是有共同的规律。同样,可靠性增长试验的设计与数据分析也是有共同规律和理论的。国际国内关于可靠性增长试验的标准(如 MIL - HDBK - 189, IEC61014, IEC61164, GJB1407, GJB/Z77)正是反映了这一点。掌握与运用这些知识对于实际工作有重要意义。

梅文华博士编著的《可靠性增长试验》一书密切结合我国的工程实际,对可靠性增长试验进行了全面系统的论述,内容理论联系实际,文字通顺易懂。书中既有对已有概念、方法的系统论述,又有作者对一些问题的最新见解。特别是对多台 AMSAA 模型进行了深入研究,指出多台异步纠正条件下文献上已有的公式(单台时的公式可平行推广至多台)是正确的,但多台同步纠正条件下仍采用和异步纠正模型同样的公式则有问题。这个看法是正确的,因为在同步纠正条件下,在试验过程中,各台的发展变化不是相互独立的,因而累计的失效数对时间的依赖关系是否仍是非齐次 Pois-

son 过程(幂律过程)就大成问题了。我相信,该书的出版将对实际工作者(特别是参加工作不久的年轻同志)了解和正确掌握可靠性增长试验的有关知识,促进我国可靠性研究水平的提高大有裨益。

还应指出,数据的统计分析与可靠性预测离不开数学模型。对于一项具体产品的研制工作,应选何种可靠性增长模型才更接近实际?这是人们长期研究但尚未圆满解决的问题。本书所介绍的数学模型是常用的几种,针对这些模型(如 AMSAA 模型)的某些缺点,又有新模型出现,例如 Ananda Sen 提出的 ERG 模型(它也是 Duane 模型的改进型)。这是读者在阅读本书时应注意的。

陈家鼎

2002 年 10 月于北京大学

前 言

任何产品在设计初期,都存在某些设计缺陷。大量的实践经验和统计结果表明,新设计研制出来的整机,一开始的平均故障间隔时间(MTBF)通常只有预计值的 10%~30%。因此,必须有计划地激发失效、分析失效原因和改进设计,并证明改进措施的有效性,实现可靠性增长。可靠性增长试验是产品研制阶段一个重要的可靠性工作项目,是提高复杂产品可靠性的一个有效途径。进行可靠性增长,可以大大节省产品在整个寿命周期内的费用。

全书共分 7 章。第 1 章阐述可靠性增长的基本概念、可靠性增长技术的发展和可靠性增长的作用。第 2 章按照可靠性增长试验计划、准备、跟踪和结束的过程,阐述可靠性增长试验的方法。第 3 章阐述可靠性增长的常用模型之一——Duane 模型,重点阐述 Duane 模型的图分析法和最小二乘法,指出了多台产品 Duane 模型的适用范围与存在的问题。第 4 章阐述可靠性增长的常用模型之一——AMSAA 模型,分别阐述了完全数据、分组数据、丢失数据、含间断区间的分组数据时的 AMSAA 模型。第 5 章阐述了多台同型产品在异步纠正与同步纠正时的 AMSAA 模型,指出了多台同型产品同步纠正 AMSAA 模型的适用范围与存在的问题。第 6 章阐述可靠性增长的常用模型之一——Gompertz 模型及其改进模型,分别阐述了 Gompertz 模型及其改进模型的 Virene 算法和非线性回归最小二乘法。第 7 章结合工程实际,阐述电子产品可靠性增长工程的通常做法:介绍美国海军电子产品的第一个 TAAF 项目,总结我国航空电子产品可靠性增长工程的规范化管理,阐述可靠性增长工程中延缓纠正时的增长预测模型,以及在可靠性鉴定试验中出现系统性失效时的处理和评估方法。

本书阐述的可靠性增长试验,主要指研制生产过程中的可靠性增长试验。在使用过程中,产品的可靠性也有可能不断增长,本书介绍的某些模型也适用于描述使用过程中的可靠性增长。

值得欣慰的是,本人有幸参加国际电工委员会(IEC)第66届大会,本书阐述的“应当将受试产品的数量限制在一个合理的范围内”、“可靠性鉴定试验中进行设计改进后应当重新试验”等主要成果已经被 IEC61014、IEC61124 和 IEC61164 等国际标准采纳。

在此,感谢国防科技图书出版基金评审委员会的大力支持。感谢北京大学陈家鼎教授对本人研究过程中所给予的指导和作序。感谢“多台产品可靠性增长模型研究”项目组成员的有益讨论。感谢空军第一研究所张福泽院士、空军第二研究所杨秉喜高工、中电科技集团电子科学研究院丁定浩研究员审阅本书初稿并提出宝贵意见。还要感谢北京航空航天大学姜同敏教授、信息产业部电子第五研究所丁以华研究员、李新祥研究员、中国航空综合技术研究所庚桂平高工、任占勇高工的帮助。感谢单位领导和同事们的鼓励和支持。

在本书的撰写过程中,参考了部分试验报告和内部资料,由于受到参考文献著录格式要求的限制,不能一一列出,特此说明并向其作者致谢。

最后,作者还要感谢家人的大力支持。

可靠性增长理论是一个发展中的研究课题,各种模型不断出现。由于作者水平所限,缺点和疏漏在所难免,欢迎批评指正。

梅文华

2002年11月于北京南苑

wenhuamei@sina.com



梅文华 1965年1月生，湖南涟源人。空军第一研究所高级工程师，空军级专家，空军工程大学硕士生导师，海军工程大学兼职教授，中国电子学会高级会员，中国电子学会青年工作委员会副主任委员，中国电子学会可靠性分会委员，全国电工电子产品可靠性与维修性标准化技术委员会委员。1988年获国防科技大学工学硕士学位，1999年获北京邮电大学工学博士学位。曾获国家科学技术进步奖二等奖1项、国家技术发明奖三等奖1项。3次荣立个人三等功。在国际学术会议、国家级学报等刊物发表学术论文50余篇，在国防工业出版社出版《跳频通信地址编码理论》和《可靠性增长试验》。

目 录

第 1 章 可靠性增长概述	1
1.1 可靠性增长的基本概念	1
1.1.1 定义	1
1.1.2 可靠性增长过程	2
1.1.3 可靠性增长试验	6
1.1.4 可靠性增长管理	9
1.2 可靠性增长技术的发展.....	11
1.2.1 国外可靠性增长技术的发展.....	11
1.2.2 国内可靠性增长技术的发展.....	15
1.2.3 国内外可靠性增长模型与标准.....	16
1.3 可靠性增长的作用及意义.....	18
1.3.1 增强产品竞争力.....	18
1.3.2 降低全寿命周期费用.....	19
1.3.3 成功的可靠性增长试验代替可靠性鉴定试验.....	21
第 2 章 可靠性增长试验	23
2.1 可靠性增长试验的计划.....	23
2.1.1 计划增长曲线的数学公式.....	23
2.1.2 增长目标的确定.....	25
2.1.3 初始可靠性水平的确定.....	27
2.1.4 第一试验段试验时间的确定.....	27
2.1.5 增长率的确定.....	28
2.1.6 总试验时间的确定.....	29
2.1.7 计划增长曲线的绘制.....	29
2.2 可靠性增长试验的准备.....	32

2.2.1	可靠性预计	32
2.2.2	故障模式、影响及危害性分析	33
2.2.3	试验环境剖面的制定	34
2.2.4	试验大纲的编制	35
2.2.5	受试产品的预处理	38
2.2.6	受试产品的性能测试	38
2.2.7	受试产品的安装	38
2.2.8	试验准备状态的评审	39
2.3	可靠性增长试验的跟踪	39
2.3.1	TAAF 试验	39
2.3.2	故障报告、分析和纠正措施系统	40
2.3.3	受试产品的性能测试	40
2.3.4	失效分类	41
2.3.5	失效处置方式	44
2.3.6	跟踪增长曲线的绘制	46
2.3.7	试验过程中的审查	46
2.4	可靠性增长试验的结束	47
2.4.1	试验结束的条件	47
2.4.2	受试产品的性能测试	48
2.4.3	受试产品的处置	48
2.4.4	试验数据的类型	48
2.4.5	可靠性增长试验的最后评定	52
2.4.6	试验结束后的评审和报告	52
第 3 章	Duane 模型	54
3.1	Duane 模型概述	54
3.2	Duane 模型的数学描述	55
3.3	Duane 模型的图分析法	57
3.4	Duane 模型的最小二乘法	60
3.5	多台产品 Duane 模型	69
3.5.1	多台产品 Duane 模型的评估方法	69

3.5.2	多台产品 Duane 模型的适用范围	72
3.5.3	多台产品 Duane 模型存在的问题	73
3.5.4	多台产品 Duane 模型存在问题的解决方法	74
第 4 章	AMSAA 模型	76
4.1	AMSAA 模型概述	76
4.2	完全数据时的 AMSAA 模型	77
4.2.1	完全数据时的极大似然估计	77
4.2.2	完全数据时的无偏估计	80
4.2.3	完全数据时的趋势检验	84
4.2.4	完全数据时的拟合优度检验	91
4.2.5	完全数据时的形状参数区间估计	92
4.2.6	完全数据时的瞬时 MTBF 区间估计	93
4.2.7	完全数据时未来第 v 次失效的预测区间	96
4.2.8	完全数据时的数值例	97
4.3	分组数据时的 AMSAA 模型	101
4.3.1	分组数据时的数据结构	101
4.3.2	分组数据时的极大似然估计	102
4.3.3	分组数据时的趋势检验	103
4.3.4	分组数据时的拟合优度检验	104
4.3.5	分组数据时的形状参数区间估计	105
4.3.6	分组数据时的瞬时 MTBF 区间估计	107
4.3.7	分组数据时的数值例	108
4.4	丢失数据时的 AMSAA 模型	110
4.4.1	丢失数据时的数据结构	110
4.4.2	丢失数据时的极大似然估计	110
4.4.3	丢失数据时的拟合优度检验	112
4.4.4	丢失数据时的数值例	112
4.5	含间断区间的分组数据时的 AMSAA 模型	118
4.5.1	含间断区间的分组数据时的数据结构	118
4.5.2	含间断区间的分组数据时的趋势检验	118

4.5.3	含间断区间的分组数据时的极大似然估计	119
4.5.4	含间断区间的分组数据时的拟合优度检验	120
4.5.5	含间断区间的分组数据时的数值例	121
第5章	多台产品 AMSAA 模型	124
5.1	多台产品 AMSAA 模型概述	124
5.2	多台同型产品异步纠正时的 AMSAA 模型	125
5.2.1	异步纠正时的极大似然估计	125
5.2.2	异步纠正时的无偏估计	128
5.2.3	异步纠正时的多台产品同型性检验	130
5.2.4	异步纠正时的趋势检验	135
5.2.5	异步纠正时的拟合优度检验	135
5.2.6	异步纠正时的形状参数区间估计	136
5.2.7	异步纠正时的瞬时 MTBF 区间估计	136
5.2.8	异步纠正时的数值例	137
5.3	多台同型产品同步纠正时的 AMSAA 模型	139
5.3.1	同步纠正时的数据结构	139
5.3.2	同步纠正时的 AMSAA - BISE 模型	140
5.3.3	同步纠正时的 AMSAA 模型	147
5.3.4	多台同型产品同步纠正模型存在的问题	153
5.3.5	IEC61014 对“受试产品的数量”的修改	164
第6章	Gompertz 模型及其改进型	166
6.1	Gompertz 模型及其改进型概述	166
6.2	估计 Gompertz 模型参数的 Virne 算法	167
6.3	估计 Gompertz 模型参数的非线性回归最小二乘法	172
6.4	改进的 Gompertz 模型	190
第7章	电子产品可靠性增长工程	202
7.1	美国海军电子产品第一个 TAAF 项目	202
7.1.1	可靠性试验/现场使用环境因子的确定	203
7.1.2	TAAF 试验时间的确定	204
7.1.3	TAAF 试验的结果	205