

可靠性增长试验 方法的研究

安伟光 胡经畚 编著

哈尔滨工程大学出版社

可靠性增长试验 方法的研究

安伟光 胡经畲 编著



哈尔滨工程大学出版社

DW39/16
内 容 简 介

本书系统地介绍了可靠性增长试验的基本概念、理论及方法,重点阐述了试验方法的研究和实际应用。

全书共分十章,第一章叙述了增长试验目的、意义及与其它试验的关系;第二至第七章详细介绍了增长试验的方法,包括试验方式、试验计划、试验大纲、试验程序及故障的分析和处理;第八章简述了增长试验的其它模型;最后两章给出了试验中存在问题的讨论,处理方法及试验实例。

本书可供从事可靠性技术工作的工程设计人员和管理人员、大专院校的教师、研究生及本科生使用。

可靠性增长试验方法的研究

安伟光 胡经雷 编著

责任编辑 罗东明

哈尔滨工程大学出版社出版发行

新华书店经销

哈尔滨工程大学印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 9.875 字数 240 千字

1996年1月第1版 1996年1月第1次印刷

印数:1~1000册

ISBN 7-81007-656-6

TH·30 定价:18.00元

前 言

近几十年来,可靠性增长试验的技术,已愈来愈广泛用于航天、航空、船舶等各个领域的工程实践中。它是新产品在研制阶段,使其达到可靠性要求值的必不可少的试验。一项成功的可靠性增长试验可以替代鉴定试验,显然它也是可靠性验证试验的一个主要方法,因此引起了国内外工程界和从事可靠性研究的科技人员的广泛关注。鉴于此种形势,本书作者根据几年来的教学、科研及第一线的可靠性增长试验实践的体会,参阅了国内外有关著作和文献,编著了这本《可靠性增长试验方法的研究》一书,希望能为可靠性增长试验工作的进一步开展提供一些技术参考。

该书的主要内容包括:引论;工程上可靠性增长试验的方式;可靠性增长试验的计划;可靠性增长试验大纲的制定;可靠性增长试验的程序;可靠性增长试验剖面的确定;故障分析和处理;可靠性增长的其他模型;可靠性增长试验中存在问题的讨论和工程上的处理方法;可靠性增长试验的实例等。该书的内容能使读者对可靠性增长试验的目的、意义及增长试验的全过程有一个清晰的认识,以便更好地指导可靠性增长试验的工作。

本书主要对可靠性增长试验的方法进行研究,给出的理论公式侧重于工程上的应用,略去繁琐的推导,通过例题,紧密结合工程实践,因此该书通俗易懂。消化该书的内容,就可以直接开展可靠性增长试验。对试验文件的编写,试验进行的步骤,试验的具体作法,以及试验中遇到问题的处理等细节,本书都给了较为详尽的论述。加之该书提供的增长试验的实例,一起作为可靠性增长试

验的很好借鉴,因此本书具有可操作性。

该书的可操作性及通俗易懂,形成了本书的特点是实践性强,因此可供从事新产品研制的决策人员、设计人员、可靠性和质量管理人員等阅读,也可作为大专院校有关专业的教师、研究生、本科生的教学参考书。

本书编著过程中,参阅了许多有关著作和文献,在此向这些作者表示衷心谢意。

由于作者水平有限,错误与不当之处在所难免,敬请批评指正。

作 者

1995 年 11 月

目 录

第一章 引论	1
1.1 概述	1
1.2 可靠性增长与可靠性增长试验的关系	3
1.3 可靠性增长试验与其它可靠性试验 及环境试验的区别	5
1.4 可靠性增长试验同环境试验的关系	12
1.4.1 环境试验是可靠性增长试验的前提	12
1.4.2 可靠性增长试验和环境试验只能互相补充, 而不能互相取代	12
1.5 什么样产品做可靠性增长试验	13
1.6 从费效分析看可靠性增长试验	14
1.7 可靠性增长试验与其它试验信息的综合利用	16
1.8 一项成功的可靠性增长试验可以替代 可靠性鉴定试验	17
第二章 工程上可靠性增长试验的方式	20
2.1 按国军标 GJB1407-92《可靠性增长试验》规定的 可靠性增长试验的方式	20
2.1.1 可靠性增长趋势的检验方法	20
2.1.2 Duane 模型与分析	29
2.1.3 AMSAA 模型与分析	38
2.1.4 Duane 模型与 AMSAA 模型比较	55
2.2 可靠性增长试验与预鉴定试验相结合的方式	60
2.3 采用综合环境步进应力来进行	

可靠性增长试验的方式	62
第三章 可靠性增长试验的计划	64
3.1 试验计划曲线的绘制	64
3.1.1 计划曲线起始点的确定	66
3.1.2 增长率的确定	69
3.1.3 增长试验的要求值(以 MTBF 表示)	73
3.1.4 绘制试验计划曲线的步骤	73
3.2 试验时间的确定	74
3.3 试验评审点的确定	75
第四章 可靠性增长试验大纲的制定	84
4.1 明确试验目的和要求	84
4.2 受试样品的要求和样本数量的确定	85
4.2.1 对受试样品的要求	85
4.2.2 试件样本数量的确定	86
4.3 试验剖面的描述	87
4.3.1 电应力	87
4.3.2 温度应力	87
4.3.3 振动应力	88
4.3.4 潮湿应力	89
4.3.5 产品试验循环	90
4.4 确定总试验时间	92
4.5 确定试验循环次数	93
4.6 试验装置、设备的要求与说明	94
4.7 试验进度安排应纳入产品整个研制计划	94
4.8 用于分析故障和改进设计等所需的时间和资源的要求	95
4.9 数据收集与记录要求	95
4.9.1 性能测量和比较基准	95
4.9.2 故障报告、分析和纠正措施的记录	96

第五章 可靠性增长试验程序	100
5.1 试验前的准备	100
5.1.1 对受试产品的要求	100
5.1.2 试验前对受试产品的性能测试	100
5.1.3 受试产品安装、试振要求	100
5.1.4 确认连接试验系统设备、仪器,对受试产品施加的 环境应力(包括温度循环、潮湿、随机振动)和工作 应力(电应力)符合试验大纲的要求	101
5.1.5 多台不同受试产品参试时的安排	102
5.1.6 试验准备状态的评审	103
5.2 试验过程中的监控和处理	103
5.2.1 严格控制试验环境条件	103
5.2.2 测试和对故障处理	103
5.2.3 试验的监控方法	104
5.2.4 可靠性增长试验数据的记录	113
5.2.5 试验中的审查	120
5.3 试验的结束与评审	121
5.3.1 试验的结束	121
5.3.2 试验结束后的评审	122
5.3.3 试验结束后,应提供的报告	122
第六章 确定可靠性试验剖面	124
6.1 剖面	124
6.1.1 寿命剖面	124
6.1.2 任务剖面	124
6.1.3 环境剖面	127
6.1.4 试验剖面	129
6.2 环境条件试验	129
6.2.1 单项环境条件试验	129
6.2.2 综合环境条件试验	130

6.3 确定试验剖面的依据	132
6.3.1 试验环境条件的确定	132
6.3.2 试验剖面的主要内容	145
6.4 试验剖面描述示例	145
6.5 确定试验剖面的参考方法	148
6.5.1 环境条件简化确定原则	148
6.5.2 环境试验条件转换法	151
6.5.3 任务剖面模拟法	151
第七章 故障的分析和处理	179
7.1 故障的分析与分类	179
7.1.1 故障的分析	179
7.1.2 故障判据	189
7.1.3 故障的分类	189
7.2 故障判定的准则	194
7.3 故障的处理	194
7.3.1 故障报告、分析和纠正措施系统(FRACAS)	194
7.3.2 故障的处理方式	202
7.3.3 故障处理的程序和要求	204
第八章 可靠性增长的其它模型	206
8.1 可靠性增长的顺序约束模型	206
8.1.1 引言	206
8.1.2 二项增长的顺序约束模型	206
8.1.3 可靠性增长评估的具体作法	208
8.2 Gompertz 模型	210
8.2.1 模型描述	210
8.2.2 应用 Gompertz 模型的具体作法	210
8.3 Lloyd - Lipow 模型	214
8.4 可靠性增长预测模型	217
8.4.1 模型的简述	217

8.4.2 模型故障率的点估计	218
8.5 其它可靠性增长模型的简介	220
8.5.1 离散的可可靠性增长模型	220
8.5.2 连续的可可靠性增长模型	223
第九章 可靠性增长试验中存在问题的讨论和	
工程处理方法	228
9.1 确定半试验循环内施加电应力的最佳时间	228
9.2 选择施加随机振动应力的方法	228
9.3 受试产品状态不受控	232
9.4 增长试验采用与预鉴定试验相结合的方式进行时 不考虑增长率	234
9.5 试验出现故障后,如何往下进行	235
9.5.1 工程处理方法之一	235
9.5.2 工程处理方法之二	236
9.6 如何确定1个试验循环的时间	238
9.7 受试产品因潮湿出现的故障应作具体分析	239
9.8 采用单级试验还是分系统级试验的讨论	239
第十章 可靠性增长试验的实例	241
10.1 M-配电器的可靠性增长试验	241
10.1.1 概述	241
10.1.2 试验方法	241
10.1.3 试验的综合环境控制	242
10.1.4 试验的管理	243
10.1.5 故障及其原因分析和纠正措施	243
10.1.6 可靠性增长的评估	244
10.1.7 结论	246
10.2 P-定时器的可靠性增长试验	249
10.2.1 概述	249
10.2.2 试验前准备	249

10.2.3	试验方案	249
10.2.4	试验剖面	250
10.2.5	试验的分析与评定	250
10.2.6	结论	251
10.3	G-高度表可靠性增长试验	253
10.3.1	概述	253
10.3.2	试验前准备	253
10.3.3	试验方案	253
10.3.4	试验剖面	254
10.3.5	可靠性增长试验评估	255
10.3.6	结论	257
10.4	某航天电子产品可靠性增长试验的实践与体会	260
10.4.1	概述	260
10.4.2	可靠性增长试验前应完成的工作	260
10.4.3	几项关键应力的选择	261
10.4.4	可靠性增长模型的选定与数据处理	261
10.4.5	试验的体会	262
10.4.6	结论	263
附表 1	趋势统计量的临界值 μ_0	265
附表 2	χ^2 分布分位数表	266
附表 3	相关系数 $\rho = 0$ 时, 经验相关系数 $\hat{\rho}$ 的临界值 $\hat{\rho}_\alpha, p\{ \hat{\rho} \leq \hat{\rho}_\alpha\} = 1 - \alpha$ 表	278
附表 4	定时截尾 MTBF 置信区间估计系数表	280
附表 5	定数截尾 MTBF 置信区间估计系数表	284
附表 6	正态分布分位数表	288
附表 7	Gramer-Vin Mises 统计量 C_M^2 的 临界值 $C_{M,\alpha}^2$ 表	291
附表 8	F 分布分位数表	292
参考文献		304

第一章 引 论

1.1 概 述

产品的可靠性是由设计确定并通过制造实现的,由于产品复杂性的不断增加和新技术的应用,产品设计需要有一个不断认识,逐步改进、完善的过程。产品早期的样机在试验和工作中,存在较多的设计和工艺方面的缺陷和问题,需要通过有计划地改进设计和工艺,消除故障产生的原因,从而逐步提高产品的可靠性水平,以达到最终的指标要求。这种有计划地按照试验——分析——改进(TAAF)的程序,使产品可靠性获得提高的过程称为可靠性增长,而实现可靠性增长的关键在于发现故障、分析原因,并采取改进措施。每发现一个故障,改进一次设计,可靠性就随之取得一次提高。可靠性增长过程如图 1.1 所示。

在研制初期的产品(最初样机)其可靠性低,随着研制工作的进展,产品质量问题得到暴露与解决,产品的可靠性就逐渐向指标接近。在研制各阶段开始,产品可靠性都比较低,这主要是生产工艺失误所致,当问题得到解决,可靠性增长重新出现,在产品投入现场使用时其可靠性指标应当达到规定的水平。

实现可靠性增长的最有效的方法之一,就是可靠性增长试验,它是为达到可靠性增长在执行研制计划过程所采取的一种试验方法。这种方法是使产品处于模拟或真实的使用环境,诱导出由于设计不良或选用不适当的元器件等原因而产生的故障。对故障进

行分析与纠正,并以试验的方式验证纠正措施的有效性,以防止故障的再度出现,从而使产品的可靠性得到确实提高。

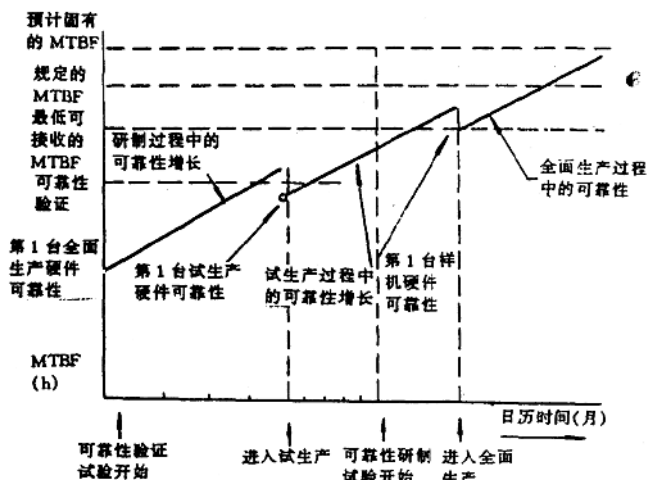


图 1.1 可靠性增长过程

可靠性增长试验目的是为了检查出产品存在的可靠性问题,是以暴露缺陷为出发点,最终解决问题,以达到可靠性增长的目的。另外可靠性增长试验还能提供在当前阶段的产品可靠性水平及根据当前的可靠性状况预计是否能在计划时间内,使产品的可靠性增长到规定要求;同时增加了产品在研制阶段达到的阶段目标的透明度,从而保证产品能顺利通过鉴定试验,以一项成功的增长试验代替鉴定试验,实现产品可靠性验证及寿命周期的最佳费效比。

这里需要明确的是,把产品在早期故障的可靠性增值,笼统地说成可靠性增长是不确切的。可靠性增长是指通过系统的永远消除故障原因使产品可靠性得到确切的提高,这与通过环境应力筛

选排除早期故障使产品恢复到固有可靠性的可靠性增值从本质上说是有区别的。后一种情况上只能说是可靠性恢复,而不能称为可靠性增长。

产品整个研制过程中的可靠性增长试验与传统的做法是有区别的。对于新研制的产品,传统的做法是从改善性能出发,进行“试验——改进——再试验——再改进”,使之处于一种局部的、经验性质的和无约束的变化状态,而可靠性增长试验能够提供一种方法,这种方法使产品处于有计划、可观测、受约束、能预测的可靠性增长状态,这就是说可靠性增长是可以管理的,因而它是在可靠性理论指导下提高可靠性的系统工程方法。

实践证明,可靠性增长试验对提高研制产品的可靠性是必不可少的,其效果取决于增长试验的设计、实施与管理。在增长试验过程中,由于每一次成功的改进都能减少产品的固有缺陷,这样,反映产品寿命的质量的母体是处在变动之中,所以恒定故障率及相应的数学分析方法对可靠性增长过程是不适用的,因此进行变动统计学(即可靠性增长的理论基础)的研究,是可靠性工程的重要研究方向之一。

1.2 可靠性增长与可靠性增长试验的关系

可靠性增长是通过系统地 and 永久地消除故障机理而积极地提高产品的可靠性。实现增长的关键在于研制和生产过程中为“强迫暴露”设计缺陷所使用的试验和其它新技术所达到的程度,并在于这些缺陷被分析和改正的状况。可靠性增长是一个过程,而且改正了设计和制造缺陷之后才能实现增长,因此它贯穿于整个研制生产过程。对于可靠性增长笼统说明,常常会产生一些错误概念。为了澄清概念,美国学者明确指岀下述概念是错误的。

- (1)可靠性增长是产品中自然发生的现象;
- (2)可靠性增长是产品进入使用后发生的自然情况;

(3)用好的元器件替换早期故障的元器件引起可靠性增长;

(4)用更详细的设计资料反映可靠性预计使可靠性增长;

要实现可靠性增长,必须改进一个或多个基本设计或工艺(如元器件的数量、种类、材料质量、应力水平、结构、热特性等),产品的设计确定了可靠性增长的起始点和增长潜力。可靠性增长可分为两种情况,一种是通过筛选排除产品的不良元器件、工艺缺陷;一种是通过改进设计而达到增长。前者表现在经过筛选的产品上,后者由于采取了改进措施,增长会在采取了改进措施的研制和生产的产品上。这样环境应力筛选和可靠性增长试验都可以促使可靠性增长,可靠性增长负责实现的是最终目标值。

可靠性增长试验只是整个可靠性增长大纲的一部分,它必须通过可靠性增长管理大纲来完成。它只是可靠性增长过程中的一段短过程,是一个有计划的试验、改进及纠正薄弱环节的过程。在这个过程中,产品处在实际环境、模拟环境或加速变化的环境下经受试验,以暴露设计中的缺陷,它只适用于研制阶段,只对产品的设计定型时的阶段目标负责。其工作要点是:

(1)预期的可靠性增长表现在每一阶段都有相应的要求值;

(2)为了提高任务可靠性,应把纠正措施集中在对任务有致命影响的故障模式上。为了提高基本可靠性,应把纠正措施的重点放在故障频率最高的故障模式上;

(3)只对受试产品进行修理不能作为产品的可靠性措施;

(4)可靠性增长试验应该着重于性能监控、故障检测、故障分析,并强调防止故障再现的设计更改验证;

(5)承制方应制定一个可靠性增长试验计划大纲。

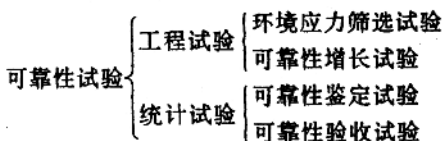
综上所述,可靠性增长和可靠性增长试验不是同一概念,尽管一项成功的可靠性增长试验可以免去可靠性鉴定试验,但如果只做增长工作,而未进行增长试验,仍不能免去可靠性鉴定试验。可靠性增长同可靠性增长试验的对比见表 1.1。

表 1.1 可靠性增长与可靠性增长试验的区别

项 目	可靠性增长(利用有关试验信息进行增长)	可靠性增长试验
使用的环境应力及施加方式	使用单一、组合或综合环境应力, 应力是加速或加剧的, 不要求模拟真实环境	使用综合环境应力, 应力应真实模拟使用环境
应用阶段	研制、生产过程	研制过程
要求值	无定量要求值, 只求找出设计缺陷, 并加以纠正和验证纠正的有效性即可	有定量要求值。在合同给定的经费限度内, 在规定的时间内达到预定的要求值
产品技术状态	对硬件的技术状态无明确规定	产品通过了环境鉴定试验和环境应力筛选
实施方法	施加应力→发现故障→分析设计缺陷→采取纠正措施→验证纠正措施有效性	(1)确定综合环境应力剖面 (2)明确划分 n 个增长阶段及各阶段要求值 (3)了解产品可靠性状态 (4)绘制计划增长曲线, 确定达到可靠性要求值的预期试验时间 (5)由试验数据, 绘制累积和当前的 MTBF 增长线 (6)增长趋势分析

1.3 可靠性增长试验与其它可靠性试验及环境试验的区别

可靠性试验的类型如下:



工程试验的目的在于暴露故障并加以排除,这种试验由承制方进行,受试样品从研制的样机中取得。对于发生故障的产品,订购方应核准采用临时换件的方法,在分析故障原因后,继续进行下去。

统计试验的目的是为了验证产品是否符合规定的要求而不在乎暴露故障。统计验证试验需按生产方制订的试验计划进行,并经订购方认可。

下面简要地介绍一下除可靠性增长试验外的其他的几个可靠性试验及环境试验。

(1)环境应力筛选试验

环境应力筛选试验是指在施加应力的条件下(振动加速度、冲击加速度、离心加速度、温度冲击等)对元器件、模块、整机进行挑选以暴露设计、工艺上的缺陷。

元器件在大批生产过程中,由于原材料和工艺的不一致性,操作技术和质量控制上的差异,致使元器件存在一些“隐患”。在装入整机后的实际使用过程中,往往导致早期故障,使整机的可靠性降低。因此,在元器件装机前,必须将其所含的早期故障产品剔除出去。

模块、整机筛选着重排除现场使用中早期故障,达到提高可靠性的目的。其特点是不需要对真实的环境准确模拟。

(2)可靠性鉴定试验

可靠性鉴定试验,是验证产品在规定条件下能否满足规定可靠性要求的试验。鉴定试验一般适用于设计定型与生产定型,它是提供产品定型依据。

(3)可靠性验收试验

可靠性验收试验是为验证在连续生产过程中生产的产品能否在规定的条件下,满足规定可靠性要求,其产品的可靠性不随生产期间工艺、工装、工作流程、零部件质量的变化而降低。一般适用于产品生产定型后进行大批量生产阶段,提供生产定型依据。