

可靠性技术

—— 试验与分析

国防工业出版社

内 容 简 介

本书分九章,重点介绍数据分析、环境试验、可靠性试验、抽样方案、故障分析、故障物理模型及其应用、筛选等内容。

本书可供从事可靠性工作的技术人员和有关人员参考。

信赖性技术——试验と解析

高木 昇監修 塩見 弘 著

東京電機大学出版局 1972 年 10 月

*

可靠性技术

——试验与分析

[日] 高木 昇主编 塩見 弘 著

五所 译 何国伟 校

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

上海中华印刷厂承排 国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张 10 3/8 226 千字

1983 年 2 月第一版 1983 年 2 月第一次印刷 印数: 0,001—6,700 册

统一书号: 15034·2078 定价: 1.10 元

出 版 说 明

为了配合国内开展可靠性工作的需要,我们本着“洋为中用”的原则,选译了日本高木昇主编的《可靠性工程讲座》的第二、三、四卷。第二卷《可靠性基础数学》,介绍可靠性技术中应用较多的概率统计方法;第三卷《可靠性技术——设计、制造、使用》,介绍设计、生产和维护使用中的质量控制及可靠性保证问题;第四卷《可靠性技术——试验与分析》,介绍可靠性的试验及其分析方法。

这套《讲座》收集的资料较为丰富实用,可供从事可靠性工作的技术人员和有关人员参考。

对原书的印误、计算错误和个别的概念错误,我们尽量作了改正,并加了注解。

序 言

本卷的写作目的,是想连同第三卷可靠性技术(设计、制造、使用)一起对整个可靠性技术作详细的解释。

第三卷从可靠性技术展望、系统寿命周期开始,在可靠性预测技术以及设计评价技术、硬件设计、人为因素、制造与可靠性、系统的使用与维修、系统的研制等一系列问题上集中了作者市田氏长时间的经验和丰富的知识,认真阅读该书就能对上述问题得到很好的了解。

第三卷是按系统的研制程序来叙述的,而本卷则与其不同,是一本提供系统研制过程中的分析技术和试验(工具及方法)的书。将本卷与第三卷相比,就不免感到系统的数理分析方法部分有些不足。这是因为在第二卷基础数学里斋藤氏已对基本的方法作了详细的叙述,请务必一并参考。

因而本卷将叙述的重点放在数据分析、环境试验、可靠性试验、抽样方案、故障分析、故障物理模型及其应用、筛选等问题上。这些问题与第三卷中的设计部分有直接的联系。因为试验在设计中是不可缺少的,故两者不能截然分开。此外,数据分析和故障分析、筛选等与使用、维修、制造也密切相关。但是不能认为本卷的内容和讲述方法就是完善的,还有很多值得研究的地方。本卷的基本思想以及与第二、第三、第五卷的关系这里从略,这在第一卷的概论中已作过叙述。

最后,对于本丛书的主编高木昇先生以及东京电机大学

出版社表示感谢。

塩見 弘 一九七二年十月

目 录

第一章 可靠性试验的基本概念

1.1 试验的要素	1
1.2 试验的一般程序	5

第二章 可靠性试验计划

2.1 可靠性试验与可靠性保证	9
2.2 试验系统的有效性	12
2.3 试验的种类和选择	18
2.4 试验的实施	24
2.5 试验的管理	27

第三章 数据分析

3.1 分析及其所用的尺度	29
3.2 分层、分类的方法	30
3.3 故障个数的分布	32
3.4 计量数据的处理	35
3.5 关于可靠性和维修性的数据分析	36
3.6 统计方法的应用	85

第四章 故障分析

4.1 故障分析和缺陷分析的目的	102
4.2 理化分析方法	103

第五章 故障物理模型

5.1 故障物理模型的大致区分	121
5.2 可逆、累积效应、临界模型	122
5.3 结构敏感性	126

5.4	应力-强度模型	126
5.5	反应论模型	132
5.6	扩散模型	140
5.7	生长曲线模型	143
5.8	串联或最弱环模型	145
5.9	指数分布和伽马分布	149
5.10	极值分布	150
5.11	累积损伤模型	152
5.12	故障物理模型在可靠性预测中的应用	156

第六章 抽样检验

6.1	何谓抽样检验	174
6.2	抽检特性曲线和质量尺度	175
6.3	合格概率的计算	178
6.4	规定 p_0 的方案和规定 p_1 的方案	180
6.5	故障率和平均无故障工作时间的抽样方案	184
6.6	指数分布、计量一次抽样方案	188
6.7	指数分布、计数一次抽样方案(用于检收批量元件)	192
6.8	指数分布、序贯抽样方案(主要是验收整机装置)	201
6.9	抽样试验的费用	214
6.10	基于威布尔分布的抽样方式	216
6.11	应用贝叶斯方法的抽样方案	219

第七章 环境试验

7.1	环境试验与环境分类	225
7.2	环境及其影响效果	235
7.3	环境试验设备	245
7.4	环境试验方法的应用举例	250

第八章 筛 选

8.1	筛选的目的和方法	256
8.2	筛选的实例	261

8.3 故障的分离与试验程序	272
----------------------	-----

第九章 寿命试验和加速寿命试验

9.1 寿命试验及其方法	276
9.2 响应法	278
9.3 振幅增加法	287
9.4 必要的样品数量和信息	288
9.5 分组最小值法	292
9.6 从反应论模型来看寿命试验	295
9.7 序进应力增加法和步进应力法	296
9.8 加速性	298
练习题和提示	309

附表

附表 1 指数分布表	316
附表 2 正态分布表	317
附表 3 χ^2 分布表	318
附表 4 F 表	320
附表 5 时间换算表	322
附表 6 物理常数与单位	322

第一章 可靠性试验的基本概念

在第一卷里已经讲述了可靠性试验的概况，这一章的内容可能与前面稍有重复。下面在继续讨论可靠性试验问题之前，先叙述一些必要的概念¹⁾²⁾。

1.1 试验的要素

〔1〕 试验条件

试验时加于对象上的工作条件或因子有：

- 1) 环境, 应力;
- 2) 时间。

其中, 就应力而言, 有故意施加的应力和非故意施加的应力两种。而对于时间, 也有不大考虑时间因素的试验以及象寿命试验那样需要对时间进行考察的试验。至于环境和应力, 则还可进一步分为：

- 3) 单因素, 多因素(环境, 应力)。

〔2〕 试验的结果、现象和原因

例如, 当加上某种负荷时, 它对试验样品的影响是属于根本性的、致命性的呢? 还是暂时性的呢? 对于这个问题, 有几种考虑方法。即要区分：

- 1) 可逆变化和不可逆变化;
- 2) 随时间变化和不随时间变化。

关于上述两点的详细讨论, 准备留在故障模型一节里叙述。有些试验如果除去电压, 样品能恢复到原来状态, 有些试验却

由于蜕化的累积效应,使得其固有寿命渐趋缩短。因此,还要区分:

- 3) 破坏性的和非破坏性的;
- 4) 致命的和非致命的。

此外,从故障现象来看,又必须区分:

- 5) 蜕化(参数漂移)故障和完全失效;
- 6) 故障模式。

而关于其故障的原因,则要区分:

- 7) 故障机理。

要判定故障,还必须有明确的故障判定标准。

〔3〕 测量

- 1) 特性值是否要测量。

而就测量值而言,还有下面的区别:

- 2) 计量值(变量)和计数值(因变量)。

所谓计量,是指对诸如长度、时间等连续量的测量。所谓计数,是指对缺陷数、故障数进行计数以判断是否合格。

我们可以将引起故障的原因(时间、应力)和由此而产生的故障机理,以及该故障机理所表现出来的故障模式或特性值的变化等之间的相互关系绘成图形,图 1·1 就是一个例子。

〔4〕 试验的种类

试验的种类已在第一卷里叙述过,即:

- 1) 根据试验的目的来区分(如环境试验、功能试验等);
- 2) 根据试验条件的严格程度来区分(如使用试验、加速寿命试验、破坏试验等);
- 3) 根据试验的设计来区分(如恒定应力试验和步进应力试验等);

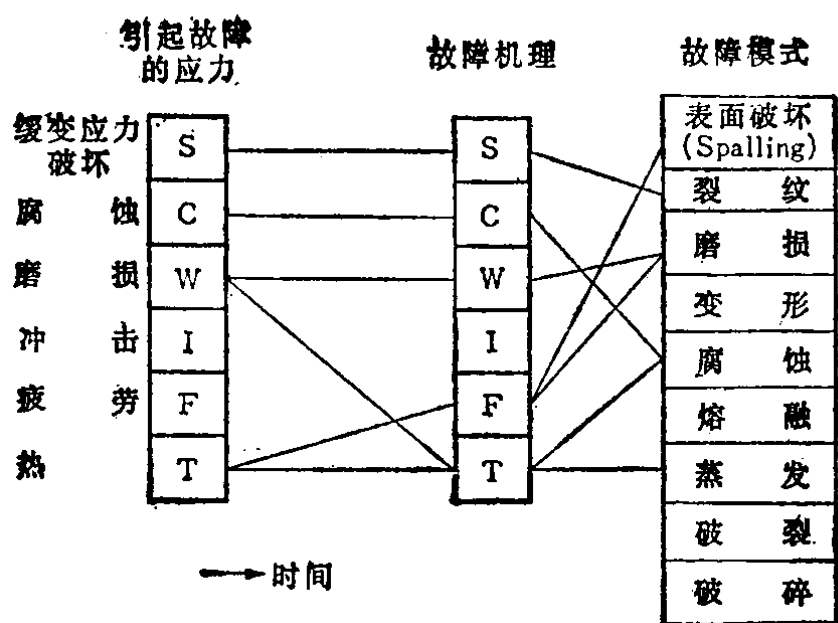


图 1·1 电刷的故障因素

- 4) 根据研制阶段的特定目的来区分(可分为验收试验、鉴定试验、飞行试验等);
- 5) 根据不同的分析方法来区分(例如计量与计数);
- 6) 根据抽样数和抽样方法来区分 (可分为抽样检查与全数检查)。

我们将试验种类根据有无随时间变化的工程效果，再按试验的基本型式，试验目的和应用三方面来区分，列成表1·1。对于表中不随时间变化的效果，补充说明下述几点：

- i) 简单测量：就是外观检查、尺寸大小、有无断线及测量放大器的增益等等。目的是在不加应力的情况下，观察试样的固有特性和性能。
- ii) 极限试验：就是不断增加应力强度直至样品出故障，以观察其安全裕度，如机械方面的极限强度余量试验，高压电路的故障模式试验等。这类试验也有人称为加应力到出故障或试到出故障为止的试验。

iii) 功能(性能)试验: 在加有应力的条件下观察试样的功能。如在某种温度下测量放大器的增益的漂移等。

iv) 验证试验: 在不合格品出故障的一定应力条件下, 验证合格品的性能, 如检验结构的安全性、反向耐压试验等。

v) 一次使用产品的灵敏性试验: 对一次使用产品进行试验, 观察有无响应(0 或 1)。如在加热应力的状态下做瞬间工作试验, 引信的验收抽样试验等等。

此外, 表中“用于其它试验的测量”这一项的意思是: 它本来是一种不考虑随时间变化的简单测量, 但在寿命试验的各个测量阶段反复进行的这种测量, 也可以看作是寿命试验的一部分。

表 1.1 试验分类示例

试验的基本类型	试验目的	在工程中的应用
不随时间变化的效应 简单测量 极限试验 (安全裕余度) 性能试验 验证试验 一次使用产品 试验	测量强度特性 了解故障模式和故障机理 判别样品是否良好, 筛选 特性测量 用于其它试验的测量	了解实现可能性的试验 研制试验 鉴定试验 验收试验 可靠性试验 质量控制试验 系统试验
随时间变化的效应 定时截尾试验 定数截尾试验 序贯试验 性能试验	测定寿命特性 了解故障模式和故障机理 老练筛选或老化筛选 测定随时间变化的特性	使用前的检查 使用过程中的评价 使用后的评价 分析

1.2 试验的一般程序

试验的一般程序详细说来是随着 1.1 节第〔4〕点中所述的不同试验目的,而各有不同的。

如图 1.2 所示,试验程序的流程如下:在提出问题(输入)后,加以定式化,再进行实施,直到最后解决问题(输出)。所谓定式化或者概念模型,讲明确一些就是这样的意思:例如,如果目的是要比较两个产品的寿命,那就是提出“哪个产品的寿命长些”这样一个问题。再如,假如我们的问题是为什么发生故障这样的机理问题,那么我们要做的就是预先假定一种后面所述的故障型式,并检验所得的实验结果与假定是否相符。

对试验结果进行数据分析时,必须同时使用下面两种方法:

- 1) 统计的数值分析;
- 2) 对性能进行物理化学分

析。

在这个流程中,根据不同的试验目的,具体运用什么样的程序将在下一章里举几个例来说明。

〔例〕 MIL-R-38100 B 的试验

MIL-R-38100 是空军电子元器件的可靠性和质量保证要求总规范。在美国军用元器件规范中,有 MIL-S-19500 半

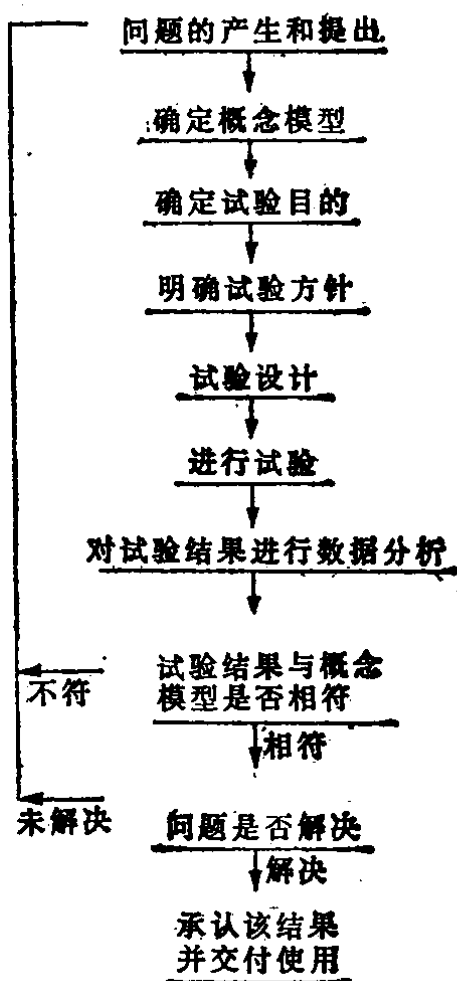


图 1.2 试验程序的流程图

导体器件总技术条件；和规定了 MIL-STD-690 A 的可靠性指标的 ER(Established Reliability)规范两种体系。在 MIL-S-19500 中使用批量允许故障率 (LTFR) 的抽样检查方案，加上预选试验和筛选试验中的特别试验 (TX)。MIL-R-38100 综合了两者的特点，但稍有不同。在该规范的 4·1·6 项，对试验作如下的分类：

- a) 质量鉴定检验：
 - i) 初始质量一致性检验；
 - ii) 初始故障率试验。
- b) 批量验收检验：
 - i) 批量质量验收检验；
 - ii) 批量验收故障率试验。
- c) 定期的合格维持检验：
 - i) 定期质量一致性检验；
 - ii) 定期故障率试验。

质量检验包括：

- A 组试验——对规定的重要参数进行全数检查或试验……筛选；
- B 组试验——为了鉴定产品的关键特性是否维持在极限值内所进行的检查或试验(非破坏性)……电参数测试；
- C 组试验——由电参数测量和基本的环境试验组成的破坏性试验。

质量鉴定检验，也叫典型试验，它是先通过外观、尺寸的检查、特性值的测量以及环境试验和耐久性试验来鉴定产品的设计质量，然后，再定期地(例如每隔六个月)进行 A、B、C 三组的质量一致性试验。表 1·2 列出了 C 组试验 (破坏性试

表 1.2 C 组 试 验

	试 验 项 目
第 1 分组	物理尺寸
第 2 分组	可焊性及耐焊性 温度循环 温度冲击 耐湿性
第 3 分组	冲击 振动疲劳 振动 或可变频率 或振动噪音 音响噪音 恒定加速度
第 4 分组	端接强度
第 5 分组	大气压(减压) 核幅照
第 6 分组	盐水环境或盐水喷雾
第 7 分组	高温寿命(非工作)
第 8 分组	稳定状态的工作寿命或 间歇状态的工作寿命

验)的内容。(参见第一卷第 5 章的表 5.5)

此外,在按 MIL-R-38100 的规定进行初始质量一致性检验中,除了a)项i), ii)必须试验合格外,对试样,还必须实施公认的可可靠性保证程序,而且要求在工程管理周到的地方生产。

参 考 文 献

- 〔1〕 塩見 弘：“故障物理入門”，日科技連出版，1970
- 〔2〕 NASA CR-1128, Practical Reliability, vol. III Testing
- 〔3〕 MIL-R-38100 B, MIL-STD-690 A, MIL-S-19500 C

第二章 可靠性试验计划

2.1 可靠性试验与可靠性保证

要使产品和系统有高可靠性,有两种途径:

1) 选用高可靠的元器件和材料(包括软件和人员),即比较谨慎、安全地选用产品的构成因素。

2) 在设计方面,采用高可靠性和易维修性的设计技术,从而提高整体的可靠性。

在提高产品可靠性的努力中,可靠性试验的任务有两个方面:

a) 改进;

b) 验证。

由于有些元器件和产品的质量是没有达到指标的,所以,在早期故障率期间使质量尽快地稳定下来,就需要进行筛选;此外,有些产品则会从市场售出之后才产生故障的,这就要通过试验找出故障的原因,以改进产品的质量。这些就是上述a)项的任务。而b)项任务有下面几个方面:对于定型生产的产品,在出厂前观测它的故障率;对试制品,在预先选定的监测时间点检查试制品的完成或进展情况;再就是观察人的因素对系统的影响和检验系统维修性的优劣。

诸如选用合适的材料和元件,采用安全可靠的结构和贮备系统,以及应用可靠性和维修性预测技术等,这虽是提高可靠性的一些努力措施,但除此以外,还必须进一步在生产各