

电子元器件 可靠性试验工程

■ 罗 雯 魏建中 阳 辉 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电子元器件可靠性 试验工程

罗 雯 魏建中 阳 辉 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书包括了电子元器件可靠性试验的各主要类别:环境试验(包含 13 类环境和综合环境试验);寿命试验和加速寿命试验;鉴定试验;极限应力试验;可靠性筛选试验;可靠性增长试验。

各试验类别又包括了试验原理,理论模型,试验设计,实施程序,设备要求,关键技术及试验示例等;介绍了相关的可靠性基础知识和数理统计方法;还提供了元器件失效分析和破坏性物理分析方法、程序及其关键性技术;使用状态中元器件失效预测技术。

本书可作为高校教师、研究生、本科生及从事可靠性研究的工程技术人员工作的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子元器件可靠性试验工程/罗雯,魏建中,阳辉等编著. —北京:电子工业出版社,2005.3

ISBN 7-121-00965-X

I. 电… II. ①罗… ②魏… ③阳… III. 电子元器件—可靠性试验 IV. TN606

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 012440 号

责任编辑:魏永昌

特约编辑:李云霞

印 刷:北京东光印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:23 字数:590 千字

印 次:2005 年 3 月第 1 次印刷

定 价:58.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

我国在 20 世纪 50 年代中期就建立了可靠性与环境适应性试验基地,60 年代中期开始研究电子元器件可靠性问题,并开展了元器件的寿命试验工作,分别对通信机、雷达、电子计算机等整机用元器件进行了初步探索。70 年代后期,随着高可靠工程的迅速发展,人造卫星、海缆工程都对元器件提出了高可靠长寿命的迫切要求,并要求各类电子元器件能经受多种复杂环境的严酷考验,对元器件提出了可靠性指标。1978 年 12 月,提出了电子元器件可靠性质量控制与反馈的管理办法和技术协议,建立了 64 多条电子元器件质量控制实验线,初步建立了元器件可靠性工程的概念,所采取的措施对推动可靠性工作起了很好的作用,产品可靠性提高了 1~2 个数量级。“八五”期间,元器件可靠性以贯彻各项标准为主线,从专项措施向质量与可靠性体系标准过渡,建立有效的质量保证体系,制定可靠性管理法规和可靠性工作管理办法,同时,可靠性工程技术也深入到商用产品中,针对彩色电视机国产化,对电视机实施可靠性指标考核,定期进行质量评比,加速推动了国产元器件可靠性进程,取得很好的效果。实践表明,元器件的质量与可靠性是电子设备质量与可靠性的关键和核心,元器件的可靠性水平必须通过可靠性试验来评价,因此,可靠性试验工程技术是可靠性工作的重要组成部分。

目前,在电子产品的可靠性试验行业工程技术人员、质量和可靠性专业人员,迫切希望接受可靠性试验方面专业教育。本书作者长期从事电子元器件质量与可靠性试验工作,在总结多年专业学术成果和工程实践经验的基础上,密切结合我国元器件的实际情况和工程需要,组织编著了《电子元器件可靠性试验工程》。本书能为电子产品研制、生产单位的可靠性工程师提供有效的参考;也可作为一本元器件可靠性技术教科书,供高校教师、研究生、本科生及工程人员阅读、参考;同时也是主管电子产品可靠性的各级管理人员的好“助手”。

本书共 12 章,内容涉及电子元器件研制、生产、使用全过程的可靠性试验工程技术:可靠性数学,寿命试验,环境试验,应力试验,筛选试验,鉴定试验等,对各项可靠性试验的试验原理,理论模型,试验设计,实施程序及试验事例等都做了详细的阐述。各章节的内容安排如下:

第 1 章 概论(杨家铨、陈昭宪、罗雯):本章介绍了可靠性术语和参数,电子元器件的可靠性表征,可靠性试验的目的和分类及可靠性试验技术的发展;

第 2 章 可靠性数学及其应用(杨家铨、魏建中):本章介绍了适合电子元器件可靠性数据处理的几种基本的统计分布,抽样检验,以及试验数据处理方法;

第 3 章 寿命试验(杨家铨、魏建中):本章介绍了寿命与应力的关系,指数分布寿命试验,加速寿命试验及寿命试验中的一些技术问题;

第 4 章 环境试验(黄瑞毅、王忠):本章介绍了环境试验的作用、类型、发展概况及气候、机械等 14 类环境和综合环境试验;

第 5 章 极限应力试验(费庆宇、王群勇、王丽琼):本章结合工程实践介绍了极限应力试验概念,目的和作用,试验的破坏性,试验的电参数测试,试验程序,试验条件及相应的案例;

第 6 章 电子元器件鉴定试验(罗雯、阳辉、王丽琼):本章介绍了电子元器件鉴定试验,鉴定试验和元器件质量等级,鉴定试验管理,鉴定试验程序,鉴定试验大纲,鉴定试验方法,试验

示例;

第7章 可靠性筛选试验(杨家铿、魏建中):本章介绍了可靠性筛选试验的意义,特点和分类,常用的可靠性筛选方法,精密老练筛选方法,线性判别筛选方法,可靠性物理筛选方法,可靠性筛选方案的设计,可靠性筛选方案的评价,元器件补充筛选(二次筛选);

第8章 可靠性增长试验(陈昭宪、王群勇、王丽琼):本章介绍了可靠性增长概念,可靠性增长原理,增长试验内容,试前准备,试验实施,试验总结与评估,可靠性增长管理,可靠性增长的工程应用模式;

第9章 元器件失效分析和失效机理(费庆宇、王群勇):本章介绍了电子元器件失效分析技术,电子元器件主要失效机理与分析技术,电子元器件失效分析案例;

第10章 破坏性物理分析(吴文章、阳辉、王丽琼):本章介绍了破坏性物理分析(DPA)的一般要求,工作程序,DPA技术实际应用效果案例;

第11章 电子元器件在使用状态中现场失效预测技术(王群勇):本章介绍了使用状态中元器件建模概念,使用状态中元器件失效过程模型,更新过程模型,元器件位置可靠性分析实例,组件失效预测,蒙特卡罗失效模拟,个体关键元器件失效预测,现场失效分析案例,现场可靠性数据自动收集系统;

第12章 试验数据信息智能化管理系统(阳辉、王勇):本章介绍了LIMS的特点与功能、数据智能化采集处理系统,试验流程管理系统以及试验信息管理系统等内容。

全书由魏建中、阳辉审校,统稿和整体安排由罗雯同志负责。此外,在本书的出版中,得到了可靠性试验技术领域的有关同志的大力帮助,并提供了宝贵的资料,同时还得到各级领导、专家、同事和电子工业出版社编辑同志的关心和支持,值此本书出版之际,特表示诚挚的谢意。

由于可靠性试验工程技术尚在发展中,本书在可靠性试验工程技术的专业深度及相关理论的阐述上尚有欠缺,另外,由于编著者水平所限,虽吸收了专家们的许多意见和建议,书中也难免有不足甚至差错,敬请业界人士及广大读者不吝赐教。

编著者

2004.12

目 录

第1章 概论	(1)
1.1 可靠性术语和参数	(1)
1.1.1 可靠性基本概念	(1)
1.1.2 产品可靠性参数	(2)
1.2 电子元器件的可靠性表征	(4)
1.2.1 初始性能及其随时间的变化量	(5)
1.2.2 环境适应能力	(5)
1.2.3 失效率或寿命	(6)
1.2.4 失效模式、机理及其分布	(6)
1.3 可靠性试验的目的和分类	(6)
1.3.1 试验目的	(6)
1.3.2 试验分类及应用对象	(7)
1.4 可靠性试验技术的发展	(10)
1.4.1 寿命试验技术的发展	(10)
1.4.2 高可靠元器件可靠性试验技术的发展	(12)
参考文献	(13)
第2章 可靠性数学及应用	(14)
2.1 寿命分布	(14)
2.1.1 指数分布	(14)
2.1.2 正态分布	(15)
2.1.3 对数正态分布	(15)
2.1.4 威布尔分布	(16)
2.2 抽样检验	(16)
2.2.1 抽样检验的必要性及其目的	(16)
2.2.2 抽样概率分布	(17)
2.2.3 抽样特性曲线(OC曲线)	(18)
2.2.4 计数抽样检验方案	(19)
2.2.5 LTPD抽样检验	(21)
2.2.6 AQL抽样检验	(25)
2.2.7 指数型失效率抽样方案	(28)
2.2.8 元件失效率鉴定检验抽样	(29)
2.2.9 固定样本大小抽样检验	(30)
2.2.10 确定抽样方案示例	(31)
2.2.11 逐批抽样检验(检查)和周期抽样检验(检查)的实施	(32)

2.3 试验数据的处理方法	(36)
2.3.1 最佳线性无偏估计	(36)
2.3.2 极大似然估计	(38)
2.3.3 图估计	(38)
参考文献	(40)
第3章 寿命试验	(41)
3.1 寿命与应力的关系	(41)
3.1.1 寿命与温度关系的阿列尼乌斯模型	(41)
3.1.2 寿命与温度及非温度应力关系的爱林模型	(43)
3.1.3 寿命与电压关系的逆幂律模型	(44)
3.1.4 电解腐蚀寿命与湿度的关系	(45)
3.2 指数分布寿命试验	(45)
3.2.1 指数分布寿命试验的意义	(45)
3.2.2 试验设计	(46)
3.2.3 试验结果的统计分析	(47)
3.3 加速寿命试验	(49)
3.3.1 进行加速寿命试验的必要性	(49)
3.3.2 加速寿命试验方法分类	(49)
3.3.3 恒定应力加速寿命试验设计及其实施	(50)
3.3.4 恒定应力加速寿命试验结果的图估计法	(52)
3.3.5 加速寿命试验中方程常数及加速系数的估计	(64)
3.3.6 加速寿命试验案例——高频大功率晶体管 3DA76D 的加速寿命试验	(66)
3.4 寿命试验中的一些技术问题	(71)
3.4.1 试验方法问题	(71)
3.4.2 测量方法问题	(72)
3.4.3 试验设备和装置问题	(72)
3.4.4 保证测量数据的准确性问题	(72)
参考文献	(73)
第4章 环境试验	(74)
4.1 概述	(74)
4.1.1 环境试验的作用	(74)
4.1.2 环境试验的类型	(75)
4.1.3 环境试验发展概况	(77)
4.2 气候环境试验	(78)
4.2.1 低温试验	(78)
4.2.2 高温试验	(79)
4.2.3 温度变化试验	(81)
4.2.4 湿热试验	(84)

4.3 机械环境试验	(87)
4.3.1 冲击试验	(87)
4.3.2 碰撞试验	(91)
4.3.3 跌落与翻倒试验	(93)
4.3.4 正弦振动试验	(95)
4.3.5 随机振动试验	(97)
4.3.6 恒定(稳态)加速度试验	(100)
4.4 水浸渍试验	(102)
4.4.1 试验目的	(102)
4.4.2 试验条件	(102)
4.4.3 试验程序	(102)
4.4.4 有关技术与设备要求	(103)
4.5 低气压试验	(103)
4.5.1 试验目的	(103)
4.5.2 试验条件	(104)
4.5.3 试验程序	(104)
4.5.4 有关技术与设备要求	(104)
4.6 太阳辐射试验	(105)
4.6.1 试验目的	(105)
4.6.2 试验条件	(105)
4.6.3 试验程序	(106)
4.6.4 有关技术和设备要求	(106)
4.7 电离辐射试验	(110)
4.7.1 试验目的	(110)
4.7.2 试验条件	(110)
4.7.3 试验程序	(111)
4.7.4 有关技术与设备要求	(112)
4.8 盐雾腐蚀试验	(115)
4.8.1 试验目的	(115)
4.8.2 试验条件	(115)
4.8.3 试验程序	(116)
4.8.4 有关技术与设备要求	(116)
4.9 霉菌试验	(117)
4.9.1 试验目的	(117)
4.9.2 试验条件	(117)
4.9.3 试验程序	(118)
4.9.4 有关技术与设备要求	(120)
4.10 沙尘试验	(121)
4.10.1 试验目的	(121)

4.10.2	试验条件	(121)
4.10.3	试验程序	(122)
4.10.4	有关技术与设备要求	(122)
4.11	地震试验	(123)
4.11.1	试验目的	(123)
4.11.2	试验条件	(123)
4.11.3	试验程序	(125)
4.11.4	有关技术与设备要求	(126)
4.12	声震试验	(129)
4.12.1	试验目的	(129)
4.12.2	试验条件	(129)
4.12.3	试验程序	(129)
4.12.4	有关技术与设备要求	(130)
4.13	运输试验	(131)
4.13.1	试验目的	(131)
4.13.2	试验条件	(132)
4.13.3	试验程序	(132)
4.13.4	有关技术与设备要求	(132)
4.14	自然环境试验	(133)
4.14.1	试验目的	(133)
4.14.2	试验条件	(133)
4.14.3	试验程序	(133)
4.14.4	有关技术与设备要求	(134)
4.15	综合环境试验	(136)
4.15.1	试验目的	(136)
4.15.2	试验条件	(136)
4.15.3	试验程序	(137)
4.15.4	有关技术与设备要求	(138)
	参考文献	(140)

第 5 章	极限应力试验	(141)
5.1	极限应力试验的概念	(141)
5.2	进行极限应力试验的目的和作用	(141)
5.3	极限应力试验的电参数测试	(141)
5.4	极限应力试验的程序	(141)
5.5	极限应力试验方法	(142)
5.5.1	热评价	(142)
5.5.2	持续温度循环试验	(146)
5.5.3	步进应力机械冲击试验	(148)
5.5.4	步进应力恒定加速度试验	(149)

5.5.5	步进应力工作寿命试验	(150)
5.5.6	恒定高应力工作寿命试验	(150)
5.5.7	步进应力储存寿命试验	(150)
5.5.8	试验失效样品分析程序	(150)
5.5.9	极限试验方案	(156)
5.6	案例	(156)
5.6.1	某高可靠 InGaP/GaAs 异质结晶体管(HBT)的热分析	(156)
5.6.2	某航天工程用的微处理器的步进应力恒定加速度试验	(157)
	参考文献	(159)
第 6 章	电子元器件鉴定试验	(160)
6.1	鉴定试验和元器件质量等级	(160)
6.1.1	鉴定试验目的	(160)
6.1.2	鉴定试验分类和特点	(160)
6.1.3	国内外电子元器件的可靠性/质量等级	(161)
6.2	鉴定试验管理	(162)
6.2.1	鉴定实验室	(162)
6.2.2	鉴定形式	(163)
6.2.3	新品鉴定工作程序	(163)
6.2.4	工作效果	(164)
6.3	鉴定试验程序	(164)
6.3.1	鉴定检验批组成	(165)
6.3.2	鉴定试验样品抽取	(165)
6.3.3	测试、试验项目及其条件	(165)
6.3.4	失效判据	(165)
6.3.5	允许失效数	(165)
6.3.6	试验数据处理和出具鉴定报告	(166)
6.3.7	失效报告与纠正措施报告	(166)
6.3.8	鉴定合格资格的维持	(166)
6.4	鉴定试验大纲	(166)
6.5	鉴定试验方法	(166)
6.5.1	传统试验方法	(166)
6.5.2	现代试验方法	(167)
6.6	试验示例	(169)
6.6.1	元器件失效率鉴定试验示例	(169)
6.6.2	元器件质量等级鉴定试验示例	(170)
第 7 章	可靠性筛选试验	(173)
7.1	可靠性筛选试验的意义及其特点和分类	(173)
7.1.1	可靠性筛选试验的意义和特点	(173)
7.1.2	筛选试验的分类	(174)

7.2 常用的可靠性筛选方法	(175)
7.2.1 检查筛选	(175)
7.2.2 环境应力筛选	(177)
7.2.3 寿命筛选	(179)
7.2.4 特性参数电测筛选	(183)
7.3 精密老练筛选方法	(186)
7.4 线性判别筛选方法	(187)
7.4.1 线性判别筛选的基本原理	(187)
7.4.2 线性判别式的建立	(187)
7.4.3 示例——用线性判别法筛选半导体器件 3DA76	(189)
7.5 可靠性物理筛选方法	(196)
7.5.1 无源元件非线性筛选	(196)
7.5.2 噪声测量筛选	(198)
7.6 可靠性筛选方案的设计	(199)
7.6.1 筛选项目的确定	(200)
7.6.2 筛选应力强度(水平)的确定	(203)
7.6.3 筛选时间的确定	(206)
7.6.4 电参数测量周期的确定	(210)
7.6.5 筛选参数及判据的确定	(210)
7.7 可靠性筛选方案的评价	(211)
7.7.1 筛选淘汰率	(211)
7.7.2 筛选效率	(211)
7.7.3 筛选效果	(212)
7.8 元器件补充筛选(二次筛选)	(212)
7.8.1 补充筛选(二次筛选)的适用范围	(212)
7.8.2 补充筛选(二次筛选)的局限性	(213)
7.8.3 补充筛选(二次筛选)的风险性	(213)
7.8.4 确定元器件补充筛选(二次筛选)程序的原则	(213)
7.8.5 元器件补充筛选程序示例	(214)
参考文献	(217)
第8章 可靠性增长试验	(218)
8.1 可靠性增长概念	(218)
8.1.1 概述	(218)
8.1.2 可靠性增长过程	(219)
8.1.3 杜安模型与增长曲线	(220)
8.2 可靠性增长原理	(222)
8.2.1 薄弱环节与故障分类	(222)
8.2.2 故障纠正方式	(224)
8.2.3 增长管理参数	(225)
• X •	

8.3 增长试验概述	(226)
8.3.1 基本内容	(226)
8.3.2 试验阶段划分	(226)
8.3.3 TAAF 与 FRACAS	(226)
8.4 试前准备	(228)
8.4.1 试验大纲与计划	(228)
8.4.2 试验条件准备	(229)
8.4.3 试前处理及性能测试	(230)
8.5 试验的实施	(230)
8.5.1 试验实施过程	(230)
8.5.2 试验过程监控	(232)
8.6 试验总结与评估	(233)
8.6.1 试验总结报告	(233)
8.6.2 信息收集与处理	(234)
8.6.3 增长分析与评估	(236)
8.6.4 增长试验用例	(239)
8.7 可靠性增长管理	(242)
8.7.1 定量控制管理	(242)
8.7.2 工程监督管理	(243)
8.7.3 元器件增长管理	(243)
8.8 可靠性增长的工程应用模式	(243)
8.8.1 两次试验比较增长模式	(244)
8.8.2 消除失效模增长模式	(245)
8.8.3 分阶段试验增长模式	(245)
8.8.4 依试验序列增长模式	(246)
参考文献	(247)
第9章 元器件失效分析和失效机理	(249)
9.1 电子元器件失效分析技术	(249)
9.1.1 失效分析的基本概念	(249)
9.1.2 失效分析的重要意义	(249)
9.1.3 失效分析的一般程序	(250)
9.1.4 收集失效现场数据	(250)
9.1.5 以失效分析为目的电测技术	(251)
9.1.6 无损失效分析技术	(252)
9.1.7 样品制备技术	(254)
9.1.8 显微形貌像技术	(257)
9.1.9 以测量电压效应为基础的失效定位技术	(258)
9.1.10 以测量电流效应为基础的失效定位技术	(260)
9.1.11 电子元器件化学成分分析技术	(263)

9.2 电子元器件主要失效机理与分析技术	(264)
9.2.1 常用元件的主要失效机理和分析技术	(264)
9.2.2 分立半导体器件和集成电路共有的失效部位、机理和分析技术	(265)
9.2.3 超大规模集成电路(VLSI)的主要失效机理和分析技术	(278)
9.3 电子元器件失效分析案例	(281)
9.3.1 电源浪涌,静电放电或电压瞬变引起的失效	(281)
9.3.2 制造工艺引起的失效	(283)
9.4 结束语	(285)
参考文献	(285)
第 10 章 破坏性物理分析(DPA)	(286)
10.1 一般要求	(286)
10.1.1 应进行 DPA 的元器件	(286)
10.1.2 DPA 试验依据	(287)
10.1.3 DPA 不合格批的处理	(288)
10.2 工作程序	(289)
10.2.1 一般工作程序	(289)
10.2.2 DPA 抽样和试验项目	(289)
10.2.3 DPA 数据记录和信息采集	(290)
10.2.4 DPA 报告	(290)
10.3 DPA 主要项目基本要求	(291)
10.4 DPA 技术实际应用效果案例	(292)
参考文献	(293)
第 11 章 使用状态中元器件失效预测技术	(294)
11.1 概述	(294)
11.2 使用状态中的元器件	(294)
11.2.1 定义	(294)
11.2.2 元器件现场失效机理	(295)
11.3 使用状态下元器件失效过程模型	(296)
11.3.1 过程及类型	(296)
11.3.2 更新函数	(297)
11.3.3 更新过程的特性	(298)
11.3.4 元器件失效率与插座的 $M(t)$ 函数关系	(299)
11.3.5 残余寿命和工作时间	(300)
11.3.6 叠加更新过程	(301)
11.4 实用模型	(303)
11.4.1 双模混合指数分布	(303)
11.4.2 双模混合指数分布的应用	(304)
11.4.3 元器件位置的 $M(t)$ 函数精确计算及粗估	(305)

11.4.4	$M(t)$ 的图估程序	(305)
11.4.5	双模混合指数分布的检验	(306)
11.4.6	近似精度的修正	(307)
11.4.7	在应力筛选的应用 ^[7]	(308)
11.5	元器件位置可靠性分析实例	(308)
11.5.1	晶体管可靠性分析	(308)
11.5.2	晶体管残存寿命	(311)
11.5.3	集成电路可靠性分析	(312)
11.5.4	分布检验	(313)
11.6	组件失效预测	(313)
11.6.1	$M(t)$ 曲线的简化	(314)
11.6.2	参数估计	(315)
11.6.3	PCB 可靠性分析	(316)
11.7	蒙特卡罗仿真	(318)
11.7.1	概述	(318)
11.7.2	系统模型	(318)
11.7.3	失效模拟	(318)
11.7.4	仿真案例	(320)
11.7.5	失效模拟程序及技术	(321)
11.8	个体关键元器件的失效预测	(323)
11.8.1	预测的基本程序	(323)
11.8.2	现场工作环境调查	(323)
11.8.3	现场失效样品的失效机理分析	(324)
11.8.4	分析样品的参数测试	(325)
11.8.5	非破坏性物理分析	(325)
11.8.6	预测和同类产品的可靠性试验	(325)
11.9	现场失效分析实例	(326)
11.9.1	某小型电台中的发射管 3DA76 的失效预测	(326)
11.9.2	被预测器件的参数测试分析案例	(327)
11.9.3	主要参数的全温测试案例	(328)
11.9.4	外观检查例子	(329)
11.9.5	检漏和水汽的露点检测	(330)
11.9.6	特殊参数的检测	(330)
11.10	现场可靠性数据自动收集系统	(331)
11.11	结论	(333)
	参考文献	(333)
第 12 章	试验数据信息智能化管理系统(LIMS)	(334)
12.1	LIMS 系统简介	(334)
12.1.1	基本概念	(334)

12.1.2 LIMS 技术的发展..... (334)

12.1.3 LIMS 硬件和软件要求 (335)

12.2 LIMS 的特点和功能 (335)

12.3 数据智能化采集处理系统..... (336)

12.4 试验流程管理系统..... (338)

12.5 试验信息管理系统..... (345)

参考文献..... (350)

第 1 章 概 论

1.1 可靠性术语和参数

1.1.1 可靠性基本概念

产品的可靠性是描述产品容易不容易坏、可靠不可靠及可靠程度怎样的术语。可靠性的“性”，即事物本身所具有的能力。显然，衡量能力大小是有前提的，该前提条件在可靠性定义中作出了规定。产品可靠性的定义为：

产品在规定的时间内和规定的条件下，完成规定功能的能力。完成规定功能，是指产品满足工作状态要求而无故障地工作。因此，要定量地了解产品的可靠性，就要明确规定时间、规定条件及规定功能与故障状态，并在实施可靠性试验时，充分考虑这些“规定”的前提^[1]。

1. 规定的时间

时间对评价产品可靠性极为重要，一般而言，随着工作时间的延长，产品的可靠性水平将会慢慢地下降，如图 1-1 所示。

大家都知道，电视机具有正常收看能力是有一定时间界限的，随着时间的推移，其性能将会不断地发生变化；即使在非工作状态下，由于各种环境条件的影响，组成它的种种元器件也将出现老化现象（包括物理性能和化学性能的变化），从而引起电视机性能的变化。因此，讲到电视机可靠性的时候，首先要明确这是工作（或储存）了多长时间的可靠性。由此可见，可靠性问题是与时间密切相关的。因而有人形象地称可靠性为“产品的时间质量”。

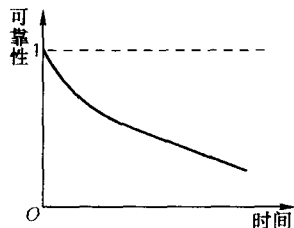


图 1-1 产品可靠性
与时间的关系

时间泛指寿命单位，可能是时钟单位，也可能是里程或循环次数等。它一般包括储存时间，管理时间，连续工作时间，间歇工作时间及故障维修时间等；有些产品的规定时间是以产品工作的动作次数（开关次数或断合循环次数）表示，如开关、继电器等产品。

2. 规定的条件

产品的可靠性与产品的工作状态，使用条件，使用、运输和保管的环境条件有很大的关系。因此，在研究产品的可靠性或对其实施可靠性试验时，有必要对使用条件与环境条件作预先研究。

规定的条件可涉及所有内部、外部的条件，包括自然的、人为的或自身引起的条件。自然环境条件和产品使用者施加的工作条件是显而易见的，但人们对产品自身引起的条件却往往易忽视。

不同的条件，意味着产品将承受不同的应力，当这些应力超过产品（或材料）所能承受的强度极限时，产品（或材料）将丧失或渐变其原有的性能。条件按其对产品作用的方式，大致可分为使用条件和周围环境条件两大类。

使用条件是指那些将进入到产品(或材料)内部而起作用的应力条件,如电应力、化学应力和物理应力等。通常所说的使用条件包括以下各种状态的应力:

热状态:产品内部的温度分布及热对流状态;

化学状态:在产品中所引起的化学变化状态;

电磁状态:产品在恒定或交变的电磁场中工作时所产生的影响;

流变状态:流体和流动黏态对产品的影响;

构造状态:固体材料内部存在的内应力;

疲劳状态:因内应力而产生的变形;

电化学状态:与电腐蚀和接触腐蚀有关的化学过程。

周围环境条件是指那些只在产品外部周围起作用的应力条件。包括:温度、湿度、气压、振动、冲击、电磁波辐射场、高能粒子辐射场、日照和重力场等。周围环境对产品的可靠性有很大的影响。高、低温,温度循环,热冲击等能使电子产品失效,因为温度能改变化学反应速度,加快电子产品性能的变化。不同的材料其温度特性不同,热胀冷缩的程度也不同,这将导致某些产品损坏,或增加产品可动部分的磨损。湿度对电子产品的影响也很大,高湿可导致产品的绝缘性能下降;吸湿可使材料腐蚀和漏电流增加,可使材料膨胀并填料歪斜、增大;水分的沾附可使产品出现短路等。湿度对 MOS 集成电路、印刷电路和其他半密封元器件的影响尤为显著。在低气压环境中,产品的耐压性能和冷却效果会降低,封装部分会漏气,并且内部气泡膨胀易产生机械损伤,这种环境应力的影响对航空用电子设备来说尤需注意。振动、冲击会使材料疲劳,降低其机械强度。日照会使涂层脱色,橡胶和塑料脆化,精密仪器的精度下降及材料内部的气泡膨胀而产生机械损伤。

上述诸应力条件的综合作用比起单一应力的作用,对产品的可靠性的影响更为显著。

3. 规定的功能与故障状态

“规定功能”既是产品技术性能指标,也是判断产品好坏的依据。

所谓产品的故障状态(对于不可维修的产品,通常称之为失效状态),是指产品不能执行规定功能的状态。亦即产品从某一时刻开始,失去其满意工作的功能时所处的状态。这里所指的满意地工作的功能,应该事先就给予规定,即规定一定的故障判别标准,否则将会产生因人而异的结果。这种判别标准,通常是以产品的技术性能指标来确定的。

根据划分标准的不同,产品的故障有各种不同的划分方法。按故障发生的场合,可分为试验失效和现场(或运行)失效;按失效的程度,可分为完全失效和局部失效(或致命失效和轻度失效);按失效前的功能或参数的性质,可分为突然失效和退化失效;按失效的起因,又可分为设计上的失效、工艺上的失效和使用上的失效;当然,如按失效的时间划分,还有早期失效、偶然失效和老化失效等。

因此,我们在研究、评价产品的可靠性时,或者在实施产品可靠性试验时,从一开始,就要对上述诸前提条件做出明确的规定,这样才能对其做出定量化的估计。

1.1.2 产品可靠性参数

要对产品实施可靠性试验,首先要进行试验方案设计,而在试验结束之后,还要对试验结果进行分析和处理,以及评价试验产品的可靠性水平。要完成上述工作,就需要对产品的寿命分布和表征产品可靠性的特征量有个初步的了解,为此,下面将对这些问题做简单的讨论。