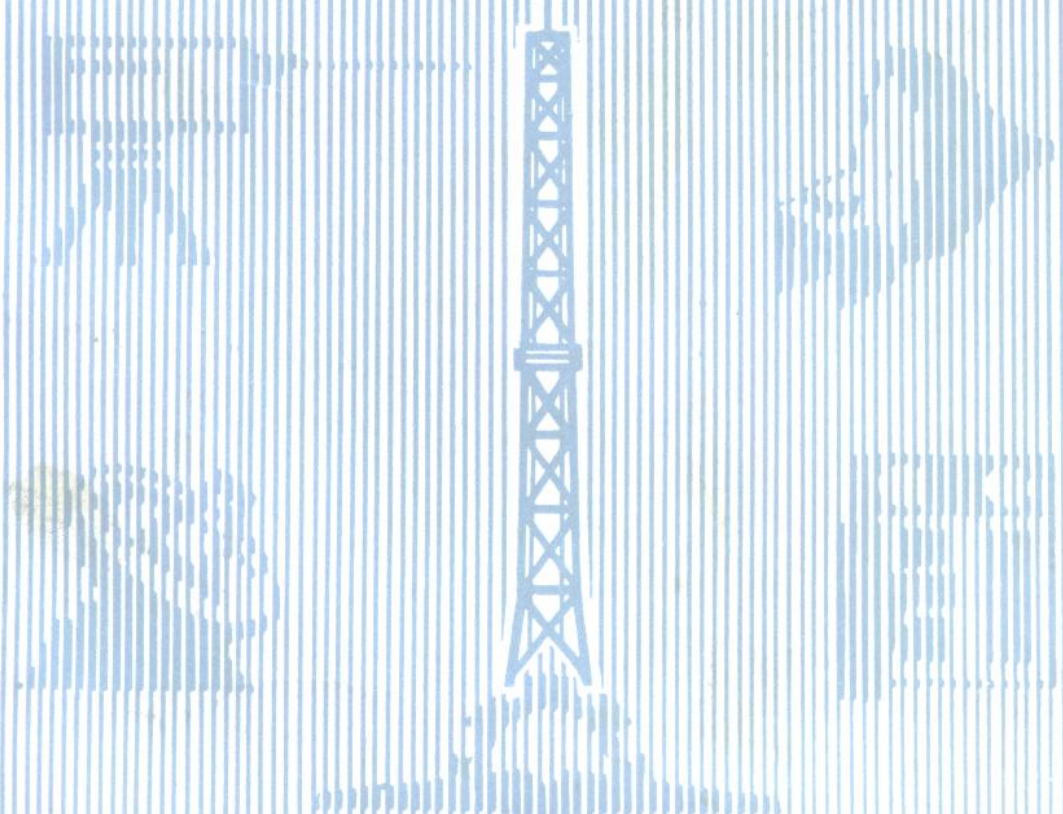


电子元器件的可靠性
李能贵

高等学校教材

电子元器件 的可靠性

李能贵



西安交通大学出版社

西

916

出版社

TN6

L30

47992

高等学校教材

电子元器件的可靠性

李能贵

西安交通大学出版社

内 容 简 介

本书以电子元器件的失效分析为重点,比较全面、系统地介绍了电子元器件的可靠性基本理论、试验方法及数据处理方法,论述了典型元器件的失效机理和分析方法。此外,对可靠性管理进行了概要的介绍。

本书适用于“电子材料与元器件”、“陶瓷材料”及“磁性材料及器件”等专业本科生使用,也可供有关专业的工程技术人员参考。

DV60/23

电 子 元 器 件 的 可 靠 性

李 能 贵

责任编辑 林 金

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁路28号)

陕建总公司印刷厂印装

陕西省新华书店经售

开本787×1092 1/16 印张11.5 插页1 字数:273千字

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数:1—2000

ISBN7-5605-0296-2/TN·15 定价:2.45元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订学1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教了参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部电子类教材办公室

前 言

本书系按原电子工业部制定的工科电子类专业教材1986~1990年编审出版规划，由电子材料与固体器件教材编审委员会电子材料与器件编审小组组织征稿、评选、推荐出版的。

本书由西安电子科技大学徐毓龙副教授担任主审。

本书的参考学时数为30~40学时，其主要内容是以电子元器件的失效分析为重点，比较全面、系统地介绍电子元器件可靠性的基本理论、试验方法以及试验数据处理，重点介绍了电子元器件的失效物理基础和失效分析方法，论述了典型元器件的失效机理与分析方法，对可靠性管理进行了概要的介绍。各校在使用本教材时，可根据专业方向不同侧重的特点，选学第五章中的有关部分。

本书编写过程中，陕西省可靠性专业学会的同志提供了不少资料，这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

绪 论

可靠性问题是在第二次世界大战期间提出来的,当时美军运往远东的设备、装置在运输和保管过程中,有半数以上因不能使用而报废,造成重大损失,从而开始投入大量人力、物力进行可靠性研究。随着现代化武器装备、通讯系统、交通设施、医疗设备、工业自动化系统以及空间技术所使用的电子设备日趋复杂,所使用的环境条件愈加恶劣,装置密度不断增加,因而对电子设备及其元器件提出了更高的要求,即不仅要求有好的特性,而且要求能高度可靠地工作。如何提高电子元件的可靠性,设计并制造出高度可靠的产品,是当前电子工业急待解决的重点课题之一。

可靠性差导致的损失是非常严重的。1963年美国航空兵飞机每飞行10000小时,就有1.46次事故,这一年中共发生514次重大事故,毁机275架,死亡驾驶员222人,损失28000万美元。1971年,苏联三名宇航员在“敬礼”号飞船中由于一个部件失灵而丧命。1979年美国军队使用计算机指挥一次军事演习,由于计算机失灵,使进攻与撤退的部队次序颠倒,造成大混乱。美国空军一次编队飞行,由于控制发射计算机失灵,竟向自方飞机发射导弹,造成严重事故。据报道美国航天局1978、1979年三次火箭发射失败,损失17000多万美元。1979年美国三里岛核电站事故,造成世界范围的核恐慌,它仅仅由于增压器减压阀的阀门出故障而导致核泄漏。1986年4月26日苏联契尔诺贝利核电站事故,也是由阀门故障引起的,导致31人死亡,迫使大批人员撤离这一地区,此外带放射性的气体还扩散到欧洲大陆,严重影响到世界各国建造核电站以解决能源问题的决策。1986年1月28日美国“挑战者”号航天飞机在进行第十次飞行时,因为主推火箭燃料箱的“O”型密封圈故障,导致起飞一分钟后爆炸,机上七名人员遇难。上述类似例子举不胜举,充分说明可靠性的重要性。

可靠性技术的发展大体可分为四个阶段:

第一阶段为调查研究阶段,主要是对电子产品可靠性问题的严重性、环境应力对失效机理的影响、可靠性总体工作的内容等进行调查研究;

第二阶段为统计试验阶段,主要是对电子产品进行统计寿命试验及环境试验,定量地得出电子元器件或整机的可靠性水平,同时制订出各种环境试验方法的标准;

第三阶段为可靠性物理研究阶段,主要对可靠性问题的本质(故障或失效的模式及其机理)进行分析研究,并探讨和提出各种加速试验的方法;

第四阶段为可靠性保证阶段,也就是在了解可靠性现象和本质的基础上,从产品研制开始到使用的各个阶段加强可靠性管理和保证、评价、认证及控制,建立可靠性数据收集、交换体系和数据中心。

目前国外电子元器件可靠性方面主要工作已基本完成,重点转向整机、系统可靠性与维修性的研究工作,现已从硬件可靠性转向软件可靠性,可靠性学科正在广泛实践的基础上加速发展。

我国的可靠性研究工作起步并不迟,早在50年代末60年代初就在可靠性调查摸底和环境

适应性方面作了一些工作，并专门成立了可靠性研究机构，调查了电子产品的失效情况，开展了电子产品的可靠性和环境适应性试验研究工作，对电子设备及系统的可靠性设计和试验进行了试探性工作，但发展较慢，使得可靠性工作与国际水平的差距拉大了。1975年后，我国电子产品的可靠性水平有了较大提高。人造卫星的成功发射，洲际导弹试验和同步通讯卫星发射成功，标志着我国电子产品可靠性达到一定水准，但与国际先进水平相比，仍有较大差距。目前，我国除了有可靠性与质量管理学会外，还建立了电子产品可靠性数据交换委员会、电子元器件质量认证委员会，重新组建了专业研究所。不少工厂、研究所相应建立了可靠性室，广泛地开展了可靠性研究活动，取得了一定成果。

下面简要地叙述可靠性工作的基本内容与特点：

可靠性工作按其性质来分，可分为四大类：即基础工作，包括可靠性技术理论基础和可靠性基本试验及检测设备研制；可靠性技术工作，包括元件可靠性、整机可靠性、应用可靠性、可靠性评价、可靠性标准；可靠性管理工作，包括可靠性标准的管理、国家技术政策的管理、企业内可靠性质量管理和质量反馈；可靠性技术教育和技术交流。

从可靠性工作的内容可知，电子产品可靠性与设计、制造、试验和使用各个环节密切相关。其可靠性高低决定于研制、生产、检验、使用的各个阶段，而且还涉及到材料、配件、仪器设备和技术管理部门。从技术知识上看，除了产品本身的设计、制造等专业知识外，还必须具备可靠性数学、可靠性物理、试验分析技术等方面的广泛知识。此外，可靠性问题还与国家经济制度、管理和技术政策密切相关。因此，开展可靠性工作，进行可靠性工程研究与实验，虽然投资大、耗时长，但必须从社会的总体应用效果来考虑，权衡得失，进行决策。

目 录

绪 论

第一章 可靠性的基本概念及其主要数量特征

- §1—1 可靠性定义 (1)
- §1—2 可靠性研究的重要性 (2)
- §1—3 可靠性常用术语和主要特征量 (2)
- §1—4 可靠性数据的搜集 (6)
- 习 题 (8)
- 参考资料 (8)

第二章 电子元器件的失效规律及常用概率纸的结构和用法

- §2—1 电子元器件的失效规律 (9)
- §2—2 威布尔分布 (10)
- §2—3 指数分布——偶然失效期的失效分布 (19)
- §2—4 正态分布或高斯分布 (20)
- 习 题 (26)
- 参考资料 (27)

第三章 可靠性试验及数据处理方法

- §3—1 可靠性试验的分类 (28)
- §3—2 指数分布情况的寿命试验 (32)
- §3—3 恒定应力加速寿命试验 (42)
- §3—4 可靠性筛选试验 (59)
- §3—5 电子元器件失效率鉴定试验 (74)
- §3—6 失效分布类型的检验 (81)
- §3—7 抽样理论及抽样方法 (86)
- 习 题 (93)
- 参考资料 (95)

第四章 电子元器件的失效物理基础

- §4—1 失效物理的目标和作用 (96)
- §4—2 材料的结构、应力和失效 (97)
- §4—3 失效物理模型 (100)
- §4—4 失效物理的应用 (104)
- 参考资料 (105)

第五章 失效分析方法

- §5—1 失效分析的目的和内容 (106)

§ 5—2	失效分析程序和失效分析的一般原则	(107)
§ 5—3	常用微观分析设备概述	(113)
§ 5—4	半导体器件的失效机理及其分析	(114)
§ 5—5	电阻器的失效机理与分析	(118)
§ 5—6	电容器的失效机理与分析	(125)
§ 5—7	接触元件失效机理与分析	(131)
§ 5—8	磁性器件失效机理与分析	(138)
§ 5—9	敏感器件失效机理与分析	(143)
	参考资料	(146)
第六章	可靠性管理	
§ 6—1	可靠性数据资料管理	(149)
§ 6—2	可靠性计划	(150)
§ 6—3	设计阶段的可靠性管理	(152)
§ 6—4	制造阶段的可靠性管理	(153)
§ 6—5	可靠性增长管理	(154)
§ 6—6	可靠性监督和可靠性保证体系	(156)
	参考资料	(158)
附录 I	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)$ 数值表	(159)
附录 I	$\chi^2(f)$ 分布的下侧分位点 $\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(f)$ 表	(160)
附录 II	标准正态分布表 (一)	(163)
附录 IV	标准正态分布表 (二)	(165)
附录 V	K—S 检验的临界值 ($D_{n,\alpha}$) 表	(167)
附录 VI	K—S 检验的定数截尾寿命试验临界值的K值表	(169)
附录 VII	K—S 检验的定时截尾寿命试验临界值的K值表	(171)
附录 VIII	K—S 检验的截尾寿命试验中 $D_{n,r}$ 的极限分布表	(173)

第一章 可靠性的基本概念及其主要数量特征

电子设备或系统主要是由各种元器件组成的。元器件的可靠性是设备或系统可靠性的基础，可靠性指标已经开始成为元器件的重要的质量指标之一。因此，了解元器件的可靠性，分析和提高元器件的可靠性，是当前电子产品最突出的问题。

§ 1—1 可靠性定义

可靠性最初是在人们交往中，表示人与人之间的信赖程度，以后逐步深入到人们的日常生活和社会实践中。例如，人们常说一件物品经久耐用，或者说这件东西不如那件耐用。尽管这种说法是主观的、定性的，但却包含了可靠性的最基本思想。可靠性定量化后，才使其真正得到广泛应用。现在工程上所说的可靠性，是指定量的可靠性。

所谓可靠性有广义和狭义两种解释。广义可靠性是指产品在其整个寿命周期内完成规定功能的能力，它包括狭义可靠性和维修性。这里所指的狭义可靠性是指“产品在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的能力”，也就是说，在规定的时间内完成规定功能的可能性或概率。它包含了四个意思：

第一，产品的可靠性是与“规定的条件”分不开的。对于电子元器件“规定的条件”主要指使用时的工作条件（如使用的电压、电流和功率等）、环境条件（如温度、湿度和气压等）或贮存条件。“规定的条件”不同，元器件的可靠性也是不同的。例如，工作负荷较轻或不工作（贮存状态）时，元器件就容易保持原有性能，而在恶劣的环境（如高温、高湿）中或工作负荷较重时则易于变化。同一元器件在实验室、野外、海上、空中等不同的环境条件下及在不同的地带或地区（寒带或热带，干热地区或潮热地区），其可靠性是不同的。因此，谈及可靠性时必须明确其所处的环境和工作状态。

第二，产品的可靠性是与“规定的时间”密切相关的。一般说来，元器件经过筛选后，随着使用或贮存时间愈长，可靠性愈低，失效数愈大。因此，可靠性必须明确在多长时间内的可靠性，离开时间的可靠性将是无意义的。同一元器件因规定的时间不同，其可靠性也是不同的。

第三，产品的可靠性是与“规定的功能”有密切关系的。所谓“功能”就是指产品的技术指标、技术要求，也就是要求完成某一任务或起到某种作用。

第四，产品的可靠性是表示在规定时间内完成规定功能的可能性的大小，从数学的观点看就是表示一种概率。这是因为一个元器件究竟什么时候发生丧失规定功能而失效是不确定的，它可以借助于概率论与数理统计方法，将其加以定量描述。显然，可靠性不是指一个元器件而言，而是对一批相同元器件而言。对于一个元器件谈不上可靠性，因为一个元器件不是好品，就是失效品。例如，电阻器生产是整批生产的，我们可以说这批可靠性高，那批可靠性低，而不能说这批电阻器中就只有一、二只可靠性不高，其它可靠性高。所以，可靠性

是对群体或总体而言，而不能用于产品的个体。

§ 1—2 可靠性研究的重要性

可靠性是与电子工业的发展密切相关的，其重要性可从电子产品发展的三个特点来加以说明。首先是电子产品的复杂程度在不断增加。人们最早使用的矿石收音机是非常简单的，随之先后出现了各种类型的收音机、录音机、录放像机、通讯机、雷达、制导系统、电子计算机以及宇航控制设备，复杂程度不断地增长。电子设备复杂程度的显著标志是所需元器件数量的多少。就轰炸机上的无线电设备而言，1921年前的飞机上还没有电子设备，1940年飞机上的电子设备的元器件只有千多只，1950年 B-47 型飞机上就发展到 2 万多只，1955 年 B-52 型飞机上电子设备的元器件已达 5 万多只，1960 年 B-58 型飞机上发展到 9 万多个。目前一般制导系统上仅计算机部分就有 10 万多个元件，一般反导弹系统仅雷达部分就有几十万多个，整个系统的元器件以百万计。而电子设备的可靠性决定于所用元器件的可靠性，因为电子设备中的任何一个元器件、任何一个焊点发生故障都将导致系统发生故障。例如，美国 1957 年发射的“先锋号”卫星中，由于一个价值 2 美元的元件出故障，导致整个卫星报废，损失 220 万美元。一般说来，电子设备所用的元器件数量越多，其可靠性问题就越严重，为保证设备或系统能可靠地工作，对元器件可靠性的要求就非常高、非常苛刻。

第二，电子设备的使用环境日益严酷，现已从实验室到野外，从热带到寒带，从陆地到深海，从高空到宇宙空间，经受着不同的环境条件，除温度、湿度影响外，海水、盐雾、冲击、振动、宇宙粒子、各种辐射等对电子元器件的影响，导致产品失效的可能性增大。

第三，电子设备的装置密度不断增加。从第一代电子管产品进入第二代晶体管，现已从小、中规模集成电路进入到大规模和超大规模集成电路，电子产品正朝小型化、微型化方向发展，其结果导致装置密度的不断增加，从而使内部温升增高，散热条件恶化，而电子元器件将随环境温度的增高，降低其可靠性，因而元器件的可靠性引起人们的极大重视。

可靠性已经列为产品的重要质量指标加以考核和检验。长期以来，人们只用产品的技术性能指标作为衡量电子元器件质量好坏的标志，这反映了产品质量好坏的一个方面，还不能反映产品质量的全貌。因为，如果产品不可靠，即使其技术性能再好也得不到发挥。从某种意义上说，可靠性可以综合反映产品的质量。

可靠性工程是一个综合的学科，它的发展可以带动和促进产品的设计、制造、使用、材料、工艺、设备和管理的发展，把电子元器件和其它电子产品提高到一个新的水平。正因为这样，可靠性已形成一个专门的学科，作为一个专门的技术进行研究。

§ 1—3 可靠性常用术语和主要特征量

可靠性是一项重要的质量指标，只是定性描述就显得不够，必须使之数量化，这样才能进行精确的描述和比较。可靠性的定量表示有其自己的特点，由于使用场合的不同，还难用一个特征量来完全代表。

1. 可靠度R或可靠度函数R(t)

产品的可靠度是指产品在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的概率。

假设规定的时间为 t ，产品的寿命为 T ，在一批产品中的寿命有的 $T > t$ ，也有的 $T \leq t$ ，从概率论角度可将可靠度表示为 $T > t$ 的概率，即

$$R(t) = P(T > t)$$

在数值上，某个事件的概率可用试验中该事件发生的频率来估计。例如取 N_0 个产品进行试验，若在规定的时间内有 $r(t)$ 个产品失效，则此时刻还有 $N_0 - r(t)$ 个产品可以完成规定的功能，显然，当 N_0 足够大时

$$R(t) = \frac{N_0 - r(t)}{N_0} = 1 - \frac{r(t)}{N_0} \quad (1-1)$$

通常，可靠度用小于或等于1的数表示，其值为 $0 \leq R(t) \leq 1$ 。

从可靠度的定义可知，可靠度是对一定的时间而言的，如果规定的时间不同，可靠度的数值也不同。因此，可靠度 R 是时间 t 的函数，故又称为可靠度函数 $R(t)$ 。

2. 失效概率或累积失效概率F(t)

失效概率是表征产品在规定条件下和规定时间内，丧失规定功能的概率，也称为不可靠度。它也是时间 t 的函数，记作 $F(t)$ ，显然

$$F(t) = P(T \leq t)$$

它在数值上等于1减可靠度，也就是说，产品从0开始试验（或工作）到时刻 t ，失效总数 $r(t)$ 与初始试验（或工作）产品总数 N_0 之比，即

$$F(t) = \frac{r(t)}{N_0} \quad (1-2)$$

累积失效概率 $F(t)$ 与可靠度 $R(t)$ 的关系式为

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (1-3)$$

如果 $F(t)$ 、 $R(t)$ 是连续函数，其变化曲线描在同一图上，则得图1-1。

3. 失效率或瞬时失效率 $\lambda(t)$

所谓失效率 $\lambda(t)$ 是表示产品工作到 t 时刻后单位时间内发生失效的概率。在数值上表示工作到某时刻 t 后，单位时间内发生的失效产品数 $\Delta r / \Delta t$ 与 t 时刻正常工作的产品总数之比，即

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \frac{\Delta r}{[N_0 - r(t)] \Delta t} \\ &= \frac{r(t + \Delta t) - r(t)}{[N_0 - r(t)] \Delta t} \end{aligned} \quad (1-4)$$

当 Δt 十分小时，可将上式写成微分形式，即

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{r(t + \Delta t) - r(t)}{[N_0 - r(t)] \Delta t}$$

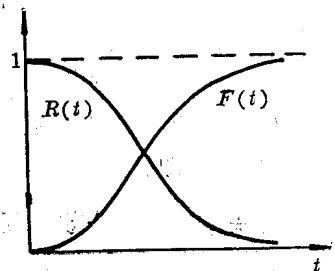


图 1-1

$$= \frac{1}{[N_0 - r(t)]} \frac{dr}{dt} \quad (1-5)$$

把此式称为时刻 t 的失效率或时刻 t 的瞬时失效率。

将(1-5)式进行数学变换, 可得

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \frac{1}{[N_0 - r(t)]} \frac{dr}{dt} = \frac{d \frac{r}{N_0}}{N_0 - r(t)} = \frac{1}{1 - F(t)} \frac{dF(t)}{dt} \\ &= -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} = -\frac{d \ln R(t)}{dt} \end{aligned} \quad (1-6)$$

从(1-6)式可以得出失效率 $\lambda(t)$ 与可靠度 $R(t)$ 的关系。知道可靠度 $R(t)$, 可以求出失效率 $\lambda(t)$ 。反之, 如知道失效率 $\lambda(t)$, 也可求出可靠度 $R(t)$ 。因为

$$\begin{aligned} \int_0^t \lambda(t) dt &= -\int_0^t d \ln R(t) = -\ln R(t) \\ R(t) &= e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \end{aligned} \quad (1-7)$$

产品失效率实际上是一条件概率, 它表示产品工作到时刻 t 的条件下, 单位时间内的失效率。

由于失效率是时间的函数, 而电子元器件又常以失效率水平来表征可靠性高低的尺度。在实际工程中, 有时用平均失效率来估算瞬时失效率。它表示失效率的平均值, 在数值上等于在规定时间内失效数与累积工作时间之比, 即

$$\overline{\lambda(t)} = \frac{r}{T_n} \quad (1-8)$$

式中, T_n 表示参加试验的所有元件总的工作时间[元件·小时], 其值等于每个元件工作的时间之和。

失效率通常有三种表示方法: [1/h], 每千小时的百分数, 即 [%/1000h], 菲特, 即 [Fit], 1Fit = 10^{-9} /h。目前我国常采用的是[1/h]。对于工作是以次数计算寿命的产品, 如继电器、开关等, 对应上述失效率单位为[1/10次]、[%/10000次]、1Fit = 10^{-9} /10次。我国有可靠性指标的电子元器件按失效率大小分为七个等级, 其失效率等级、代表符号和失效率如表1-1所示。必须特别指出: 电子元器件失效率试验所确定的失效率是基本失效率或称固有失效率, 即在产品技术标准所规定条件下的失效率, 而不是产品使用条件下的失效率。

4. 失效密度或失效密度函数 $f(t)$

失效密度是表示失效概率分布的密集程度, 或者说是失效概率函数的变化率。它在数值上等于在时刻 t , 单位时间内的失效数与初始试验或工作产品总数 N_0 的比值, 即

$$f(t) = \frac{\Delta r}{N_0 \Delta t}$$

同样, 当 N_0 很大时, 也可用微商的形式来表示, 即

表1-1 失效率等级

名称	符号	最大失效率(1/h, 或1/10次)
亚五级	Y	3×10^{-6}
五级	W	1×10^{-6}
六级	L	1×10^{-6}
七级	Q	1×10^{-7}
八级	B	1×10^{-8}
九级	J	1×10^{-9}
十级	S	1×10^{-10}

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{N_0 \Delta t} = \frac{1}{N_0} \frac{dr}{dt}$$

$$= \frac{d \frac{r}{N_0}}{dt} = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (1-9)$$

其函数描绘的图形如图 1-2 所示, 所描述的曲线称为失效密度曲线, 它与横坐标轴之间的面积恰好等于 1。也就是说, 失效密度这个随机变量在 $(0, \infty)$ 范围内的概率等于 1。用积分式表示有

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = \int_0^t f(t) dt + \int_t^{\infty} f(t) dt$$

$$= F(t) + R(t) = 1$$

图 1-2 清楚表示出 $f(t)$ 、 $F(t)$ 与 $R(t)$ 之间的关系。

图中阴影部分的面积表示失效概率, 无阴影部分的面积就表示产品的可靠度。

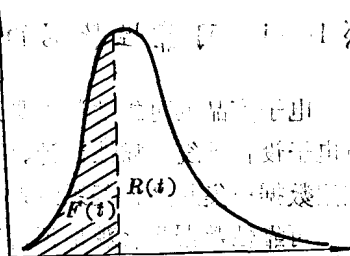


图 1-2

5. 平均寿命 μ

平均寿命对不可修复或不值得修复的产品和可修复的产品有不同的含义。对于不可修复的产品, 其寿命是指产品发生失效前的工作时间 (或工作次数)。因此, 平均寿命是指寿命的平均值, 即产品在丧失规定功能前的平均工作时间, 通常记作 **MTTF** (*mean time to failure*)。对可修复的产品, 寿命是指两次相邻故障间的工作时间, 而不是指产品报废的时间。因此, 对这类产品的平均寿命是指平均无故障工作时间, 或称平均故障间隔时间, 记作 **MTBF** (*mean time between failures*)。但是, 不管哪类产品, 平均寿命在理论上的意义是类似的, 其数学的表达式也是一致的。

假设被试产品数为 N_0 , 产品的寿命分别为 t_1, t_2, \dots, t_n , 则它们的平均寿命为各寿命的平均值, 即

$$\mu = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i \quad (1-10)$$

当失效密度函数 $f(t)$ 已知,且连续分布,那么,总体的平均寿命 μ 可按式计算:

$$\mu = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (1-11)$$

这可以通过下面数学变换而得到。因为在 dt 内的失效数

$$dr = N_0 f(t) dt$$

所以

$$\mu = \int_0^{\infty} \frac{1}{N_0} t dr = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

又因

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt}$$

所以

$$\mu = \int_0^{\infty} -t dR(t) = -tR(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

一般说来,电子元器件的平均寿命愈长,在短时间内工作的可靠性愈高。但是,可靠性与寿命虽然密切相关,又不是同一概念,不能混为一谈。不能认为可靠性高,寿命就长,也不能认为寿命长的可靠性就必然高,这与使用要求有关。通常所指的高可靠,是指产品完成要求任务的把握性特别高;而长寿命,是指产品可以用很长时间工作而性能良好。如海、地缆通讯设备所用元器件要求使用20年而性能良好,体现了长寿命,导弹工作时间不一定长,但工作时间内(几秒、几分或半小时)要求高度可靠,万无一失,这就体现为高可靠。

§ 1—4 可靠性数据的搜集

电子产品的可靠性数据是开展电子产品可靠性工作的基础,是进一步提高产品质量、进行电子设备系统可靠性设计、可靠性预计的前提条件。必须将分散的可靠性试验数据与现场使用数据搜集起来,经系统地分析、整理后提供咨询和交换,以利共享数据资源。

可靠性数据是客观地评价产品质量及其可靠性的主要尺度。因此,只有大量地搜集产品的现场试验数据以后,才能对产品的可靠性指标作出正确的评价。

产品的失效信息揭示了产品本身的缺陷,为了分析产品的可靠性问题必须研究产品的失效数据,找出影响可靠性的因素,以便对症下药,从而提高产品的可靠性。显然,可靠性数据是提高产品质量和可靠性不可缺少的一环。

电子设备的可靠性设计和预计,必须以电子元器件的失效率数据为基础。因为电子设备是由电子元器件组成的,任何一个元器件出故障都可能导致设备出故障。对于按照串联方式组成的设备,整个系统的可靠度等于各分系统可靠度的乘积,而系统的总失效率是各部分失效率之和。所以只有掌握元器件失效率的数据,才能对设备系统进行可靠性设计和预计。

从上所述,提高产品可靠性的过程,实质上就是一个不断积累可靠性信息,进行质量反馈的过程。

为了有效地搜集和利用可靠性数据,各国均先后成立了数据搜集体系,建立了数据交换

网。我国也于1980年12月成立了“电子产品数据交换网”，为可靠性数据的搜集、积累、交换提供了条件和保证，并开始研究、编辑、出版可靠性数据集和数据手册。

搜集和提供的数据主要有两类：

①可靠性数据，简称A类数据

它包括质量认证数据；质量评比数据；失效率数据；寿命与加速寿命试验数据；现场使用数据；贮存试验数据；其它可靠性数据。

②可靠性文献资料，又称B类数据

它包括国内外电子产品可靠性试验及失效分析报告；国际、国内有关的可靠性标准规范；国内电子产品可靠性标准规范；国内外可靠性研究的重要成果；电子产品厂家、产品型号、性能及规范；其它有关的可靠性技术文献资料。

对于A类数据一般保存期限为5年，5年以后以缩微胶卷存档备查；B类数据以缩微胶卷贮存，如有新的同类信息更换时，原数据才能剔除。

数据的搜集方法一般有两种：一种是对现场工作人员分发报表，令其逐项填写，然后定期回收；另一种是培训一批专业人员，编制调查纲目，有计划、有目的地深入现场进行调查，搜集重要的可靠性数据，然后整理成统一的格式。

为了有效地搜集可靠性数据，通常要制定统一的报表，使数据标准化和规范化。一般来说，搜集可靠性数据时要注意以下几点：

产品的使用范围；

产品出故障现象和部位；

产品实际工作时间；

产品的使用条件；

产品的维修条件；

产品抽样的代表性；

表征产品可靠性的尺度；

产品性能的测试仪器、测试方法和精确度；

数据报表的形式及项目合理性和全面性；

观测数据的真实性和准确度。

为了使所获得的可靠性数据能够真实、客观和准确，必须抓好三个环节：

第一环节是原始数据的真实性。可靠性的原始数据一般是从现场观测或可靠性试验而获得的，因此，试验观测的取样方式、试验方案、试验设计要能真实反映客观实际面貌。例如环境设计要尽可能客观地反映产品真正的工作条件，试验应力要合理地选取，抽样、试验时间都必须遵循统计规律的要求等。此外，试验设备及其测试仪表的精度要满足测试数据的精度要求，并尽量消除或减弱系统误差，降低随机误差，以提高测试的精确度。

第二环节是数据来源，要有足够的信息量。因为可靠性指标是一些统计指标，只有通过大量的调查研究并取得丰富数据资料的基础上，才能对产品的可靠性水平作出正确的评价。因此，只有在原始数据达到一定的信息量以后，才能得到准确可靠的产品寿命结论。

第三环节是统计分析方法的合理性。合理的统计分析方法是获得准确可靠数据的重要保证。一般地说，从现场所取得的试验观测值，只是产品总体中的个别样本值。要想从有限个

体的观测值去推断总体的统计特征值，必须要有合理的数据处理方法及统计分析手段，因此，数据处理的合理性及其统计分析的置信度是关系到数据准确性的重要问题。因为同一产品由于抽样不同，会得到不同的数据；同一试验数据，采取不同的分析处理方法，也会得到不同的结果。如何分析和解决这些差异之间所造成的矛盾，正是统计分析所要研究的问题。目前试验数据的统计分析包括分布类型的检验、分布参数的估计、分布参数的检验等，这些内容将在下面有关章节中具体加以介绍。

习 题

1. 有110支电子管，工作到500h有10支失效，工作到1000h时总共有53支电子管失效，试求出此产品分别在500h与1000h的可靠度、失效概率各为多少？
2. 有1万只灯泡，其8年内的失效数据如下表：

t_i (年)	1	2	3	4	5	6	7	8
Δr (只)	100	100	100	100	300	600	1000	1400

试计算工作到第5年和第8年的失效率各为多少？

3. 某一海底电缆无人增音机，共使用了1680只元件，至少要求工作20年，问这些元件的平均失效率是多少？
4. 一台大型电子设备使用了50000只元件，已知失效率水平为 10Fit ，问每年允许失效的元件的最大数是多少？
5. 某一批继电器50只，试验了 2.5×10^6 次，发现有4只失效，问其平均失效率是多少？该继电器应属于几级品？

参 考 资 料

1. GB3187-82 可靠性基本名词术语及定义
2. [日]盐见 弘著：《可靠性工程基础》，科学出版社，1982年3月