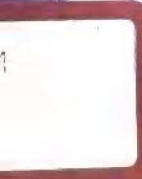




中国标准出版社



可靠性工程入门

可靠性工程入门

何国伟 郎志正 马毅林 编著

朱明让 苏德清 廖炯生

责任编辑 余小兵

中国标准出版社出版
(北京复外三里河)

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

开本 787×1092 1/32 印张 8¹/₂ 字数 187 000

1989年2月第一版 1989年2月第一次印刷

印数 1—3,500

ISBN 7-5066-0092-7/TB·026

定价: 2.25 元

科技新书目

182—73

内 容 简 介

本书为可靠性工程普及读物。主要介绍了可靠性与可靠性管理；可靠性设计；可靠性分析；可靠性试验；质量管理抽样检查与可靠性抽样检查；全面质量管理。各章通俗易懂，便于应用。

本书可供从事质量管理、标准化和与可靠性工作有关的工程技术人员、管理人员参考，也可供工科院校师生阅读。

前 言

可靠性工程的出现与电子工业的发展有着密切的关系。60年代以来,伴随着通信、导弹、电子计算机和宇航等技术的发展,对元器件(零部件)、整机、系统的可靠性提出了更高的要求,成为评价产品质量的基本目标之一。今天,可靠性技术不仅应用于电子工业,也应用于其他行业;不仅应用于比较复杂的产品,也应用于家庭和公用事业的器具,并日益显示出它的重要性,可靠性技术应该成为产品的设计者、生产者、管理者和使用者所必须具备的知识。本书正是为了适应这种需要而编写的。

本书的编写人员:何国伟(第一章)、朱明让(第二章)、廖炯生(第三章)、苏德清(第四章)、马毅林(第五章)、郎志正(第六章),由郎志正总纂。

编 者

1987年10月

目 录

第一章 可靠性与可靠性管理概述	(1)
§ 1 可靠性	(1)
1-1 可靠性的三大指标.....	(1)
1-2 可靠性与经济效益.....	(2)
1-3 可靠性工程的发展简史.....	(6)
1-4 可靠性是设计出来的、生产出来的、管理 出来的.....	(7)
1-5 可靠性工作程序.....	(9)
1-6 可靠性的几个基本法则.....	(9)
1-7 故障规律.....	(12)
§ 2 可靠性管理	(17)
2-1 可靠性计划.....	(18)
2-2 故障报告分析及改进系统.....	(21)
2-3 可靠性设计管理.....	(23)
2-4 研制、生产及试验的可靠性管理.....	(31)
第二章 可靠性设计	(34)
§ 1 可靠性预计	(35)
1-1 可靠性预计的概念.....	(35)
1-2 可靠性预计程序.....	(37)
1-3 可靠性预计方法.....	(39)

§ 2 可靠性分配	(52)
2-1 串联系统可靠性分配.....	(53)
2-2 冗余系统可靠性分配.....	(61)
2-3 可维修系统可靠性分配.....	(64)
§ 3 可靠性的改进	(68)
3-1 简化设计.....	(68)
3-2 元器件的减额使用.....	(69)
3-3 概率安全余量.....	(70)
3-4 多余度技术.....	(71)
3-5 环境保护技术.....	(74)

第三章 可靠性分析..... (75)

§ 1 系统可靠性模型和可靠性框图分析法	(75)
1-1 概述.....	(75)
1-2 串联和并联系统.....	(76)
1-3 贮备系统和表决系统.....	(79)
1-4 一般网络可靠性分析.....	(84)
§ 2 可修复系统可靠性分析	(90)
2-1 一个单元的可修系统.....	(91)
2-2 可修串联系统.....	(95)
2-3 可修并联系统.....	(97)
§ 3 故障模式、后果及危害度分析	(100)
§ 4 故障树分析	(106)
4-1 建造故障树.....	(107)
4-2 故障树定性分析.....	(113)
4-3 故障树定量分析.....	(116)

第四章 可靠性试验方法	(121)
§ 1 可靠性试验	(121)
1-1 可靠性试验目的.....	(121)
1-2 可靠性试验分类.....	(123)
1-3 试验设计中的几个主要问题.....	(124)
§ 2 可靠性测定试验	(129)
2-1 指数分布寿命试验的点估计方法.....	(130)
2-2 置信区间.....	(132)
§ 3 威布尔分布寿命试验的图估计法	(137)
3-1 威布尔概率纸与寿命直线.....	(137)
3-2 形状参数及其估计方法.....	(138)
3-3 位置参数及其估计方法.....	(140)
3-4 尺度参数及其估计方法.....	(141)
§ 4 加速寿命试验	(143)
4-1 加速寿命试验分类.....	(143)
4-2 恒定应力加速寿命试验的物理背景.....	(144)
4-3 设计恒定应力加速寿命试验应考虑的基本 问题.....	(145)
4-4 加速寿命试验的图估计法.....	(146)
§ 5 可靠性增长试验	(149)
§ 6 可靠性验证试验	(152)
6-1 失效率等级与置信度.....	(153)
6-2 试验程序及抽样表.....	(155)
6-3 失效率验证试验标准的应用.....	(157)

第五章 质量管理抽样检查与可靠性抽样检查	(164)
§ 1 质量管理中的抽样检查	(164)
1-1 概述.....	(164)
1-2 抽样检查的科学性、必要性和经济性.....	(165)
1-3 有关抽样检查的一些术语.....	(166)
1-4 计数一次抽样方案.....	(168)
1-5 计数序贯抽样检查.....	(182)
§ 2 可靠性抽样检查	(189)
2-1 概述.....	(189)
2-2 计数一次(可靠性)抽样方案.....	(190)
2-3 计量一次(可靠性)抽样方案.....	(197)
2-4 寿命试验的序贯抽样方案.....	(203)
第六章 全面质量管理	(207)
§ 1 质量	(207)
1-1 产品质量.....	(207)
1-2 工作质量.....	(210)
§ 2 全面质量管理概述	(212)
2-1 怎样理解全面质量管理.....	(212)
2-2 全面质量管理的工作方式.....	(214)
2-3 全面质量管理的指导思想.....	(218)
2-4 全面质量管理在企业管理中的地位.....	(220)
2-5 全面质量管理的基础工作.....	(221)
§ 3 质量保证体系	(222)
§ 4 常用质量管理方法	(224)
4-1 因果图法.....	(224)

4-2	关联图法	(226)
4-3	直方图法	(228)
4-4	工序能力分析法	(230)
4-5	排列图法	(234)
4-6	控制图法	(237)
4-7	散布图法	(245)
4-8	KJ 法	(246)
4-9	系统图法	(248)
4-10	过程决策程序图法	(250)
4-11	对策表法	(251)
4-12	正交试验法	(253)
§ 5	可靠性与质量管理	(256)
5-1	产品可靠性是产品质量的基 本目标之一	(257)
5-2	把质量控制与可靠性控制结合起来	(258)
5-3	可靠性保证是质量保证的重要内容, 可靠 性管理是质量保证体系的组成部分	(259)
5-4	保证与提高可靠性是企业提高经济效益的 一个重要途径	(260)

第一章 可靠性与可靠性管理概述

§ 1 可靠性

1-1 可靠性的三大指标

产品在规定的时期内、在规定的条件下，可以执行任务并完成规定任务的可能性（即概率）叫做产品的“可靠性”。这个规定的时期对一次性使用的产品而言称为“贮存期”或“保险期”；对反复使用的产品而言称为“保险期”。例如对导弹来说是贮存期或保险期；而对导弹地面设备来说则为保险期。在下达执行任务要求起的规定时间内，可以执行规定任务的可能性称为产品的“有效性”。对于工业系统来说，有效性是一个重要的指标。如果规定火箭在某一时刻发射，在发射前的若干时间（例如一个小时）命令地面检测系统在规定的时间（例如 50 分钟）内要开始工作。但如果在这个时间内出了故障，到规定的时间还不能修复，则检测就不能进行，火箭发射就必须推迟，对于这次发射来说，地面检测系统是无效的。产品有效性决定于产品出故障多不多（即故障率高不高），出了故障后能否很快发现故障及排除故障（即可维性高不高）。

在执行任务过程中，结构上不出故障的可能性叫“结构可靠性”；精度满足要求的可能性叫“性能可靠性”。结构可靠性及性能可靠性合称为“狭义可靠性”。保险期、有效性、狭义可靠性是产品可靠性的三大指标。

从可靠性工程的发展历史来看，人们首先认识到的是性能可靠性，即产品的参数要满足规定的要求（所谓精度要求）。达到了性能可靠性的要求，算是解决了“有”、“无”问题。但有、无问题的解决不等于能交付使用。这一次工作成功、下一次工作失败，……那是不行的。这就提出了结构可靠性问题。所以，早期的可靠性指的是结构可靠性。当产品交付使用以后，保险期的问题很快就提出来了，而在系统的使用过程中，有效性也逐步突出。我们把包括保险期、有效性、狭义可靠性的可靠性叫“广义可靠性”。

有的领导有一种错觉，认为“有、无问题解决了，可靠性问题好办！”实际上，解决有、无问题后，还要做大量的工作才能解决可靠性问题。美国人将民兵 I 导弹的可靠性提高，成为民兵 II 导弹，在可靠性工作上耗费的投资超过了民兵 I 导弹的研制费用，这个典型的历史经验是值得参考的。

1-2 可靠性与经济效益

根据产品可靠性的定义，可以看到，可靠性是产品质量的主要内容之一。对军用产品及工业生产设备来说就更加重要。有的同志认为搞可靠性必定费钱，即认为“物美并不价廉”。这个观点是不正确的。

“设备”从使用单位的观点来看，从设备出厂，交付使用若干年到它报废时为止，是它的整个“寿命周期”。一个单位购置一项设备（如一个家庭购置一个大件），所花的钱不能只看购置时的购置和安装费用是多少？而是要看寿命周期内的总费用是多少？寿命周期的总费用应该包括：设备起始的购置及安装费用，每年的使用费用，维修费用，寿命终了时将设备处理的处理值（可正可负），即残值。

在计算分析产品的各项费用时，必须注意到金钱的时值。设在 $t=0$ 时有 P 元，以年为时间单位，年利为 i ，则到 $t=1$ 时，原来的 P 元应增值到 $P(1+i)$ 元，……，到 $t=n$ 时，原来的 P 元应增值到 $P(1+i)^n$ 元。令 $t=0$ 时的 P 元到 $t=n$ 时的值为 F ，则有

$$P = F(1+i)^{-n}, \quad F = P(1+i)^n$$

F 叫做 P 的将来价值， P 叫做 F 的现在价值。我国重工业年利率平均为 15% 左右，故可取 $i=15\%$ 。

把设备在第 j 年内的使用费折算到年底 $t=j$ 时的值为 F_j ，把设备在第 j 年内的维修费折算到年底 $t=j$ 时的值为 R_j ，两者合计为 $t=j$ 时的现金支出 C_j ， $C_j = F_j + R_j$ 。

设设备的寿命周期为 n 年，第 j 年末的现金支出为 C ， $j=1, 2, 3, \dots, n$ 。则第一年末的现金支出折算到 $t=0$ 时的现金价值为 $C(1+i)^{-1}$ ，……，第 j 年末的现金支出折算到 $t=0$ 时的现在价值为 $C(1+i)^{-j}$ ， $j=1, 2, \dots, n$ 。于是寿命周期内逐年的使用维修费用支出的总金额现在价值为

$$\begin{aligned} & C(1+i)^{-1} + C(1+i)^{-2} + \dots + C(1+i)^{-n} \\ &= C(1+i) [1 + (1+i)^{-1} \\ &\quad + \dots + (1+i)^{-n+1}] \\ &= C(1+i) \frac{1 - (1+i)^{-n}}{1 - (1+i)^{-1}} \\ &= C \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^{n-2}} \end{aligned}$$

设设备于寿命周期终了时的残值为 S ，则 $t=n$ 时的 S 折算到 $t=0$ 时的现在价值为 $S(1+i)^{-n}$ 。

设 $t=0$ 时设备的初始购置及安装等费用为 P_0 ，则设

备于寿命周期内总费用折算到 $t = 0$ 时为 P_T , 则

$$P_T = P_0 + C \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} + S(1+i)^{-n} \quad (1-1)$$

这里支出算正值, 收入算负值。

〔例 1〕某型号电视机, 售价 500 元, 耗电的功率为 40 瓦, 平均一月开机 100 小时, 寿命 10 年, 平均 10 年修一次, 每修理一次的平均费用为 20 元, 10 年后的残值为 50 元, 求该电视机的寿命周期总费用? i 按银行年利率 5.76 计算。

解: $P_0 = 500$ 元; $S = 50$ 元; $n = 10$

一月用 100 小时, 用电 4 度, 按每度电费 0.175 元计算, 则每月电费为 0.70 元, 一年使用电费 $P = 8.4$ 元。该电视机平均故障率为 $1/10$, 即每年的平均修理费用为 $R_f = 20 \times 1/10 = 2$ 元, 从而每年年末支出的使用修理费用 $C = 8.4 + 2.0 = 10.4$ 元。于是该电视机的寿命周期总费用为

$$\begin{aligned} P_T &= 500 + 10.4 \frac{(1 + 5.76\%)^{10} - 1}{5.76\%(1 + 5.76\%)^{10}} \\ &\quad - 50 \times (1 + 5.76\%)^{-10} \\ &= 500 + 10.4 \times 7.44455 - 50 \times 0.57120 \\ &= 548.86 \text{ 元} \end{aligned}$$

〔例 2〕某型号的电视机, 售价 400 元, 功率 100 瓦, 平均二年半修一次, 寿命 5 年, 5 年后的残值为 50 元, 其它数据与〔例 1〕相同, 求寿命周期总费用。

解: $P_0 = 400$ 元; $S = 50$ 元; $i = 5.76\%$; $n = 5$

每月用电 10 度, 每月电费为 1.75 元, 一年使用电费 $P_f = 21$ 元, 该电视机平均年故障率为 0.4, 即每年的平均

修理费用为 $R_1 = 20 \times 4 = 8$ 元，从而每年年末支出的使用维修费用 $C = 21 + 8 = 29$ 元。

$$\begin{aligned} P_T &= 400 + 29 \frac{(1 + 5.76\%)^5 - 1}{5.76\%(1 + 5.76\%)^5} \\ &\quad - 50 \times (1 + 5.76\%)^{-5} \\ &= 400 + 29 \times 4.2400 - 50 \times 0.75578 \\ &= 485.17 \text{ 元} \end{aligned}$$

所以，原来电视机的寿命周期总费用为 485.17 元。表面上似乎现在的电视机寿命周期总费用大，但实际上现在的电视机使用 10 年，而原来的电视机使用 5 年。因此〔例 1〕是以 548.86 元取得 10 年的服务，而〔例 2〕则是以 485.17 元取得 5 年的服务，显然〔例 1〕的社会经济效益要比〔例 2〕大得多。

在 1979 年的全国广播电视的可靠性会议上有人算了一笔账，如果以 1980 年年产 200 万台电视机为基数，平均年增长率设为 15%，每修理一次算平均 10 元，则当平均寿命为 500 小时情况时，从 1980 年到 1990 年，人民要付出维修费 19.6 亿元。但如果平均寿命为 1 万小时，则人民只要付出维修费 2.27 亿元。也就是说：即使国家花上十个亿把电视机的平均寿命从 500 小时提高到 1 万小时也是值得的，因为人民将少花费 17.3 亿元。

另一方面，企业抓产品可靠性工作开始时是要花一些钱的，但是见效后就大大地省钱了。国外电子产品的可靠性一般比国产的高，而成本却低得多，这就是一个例证。

上海广播电视工业公司是一个典型的单位。电视机的平均无故障工作时间不到 500 小时，产品到商店一开箱就不合格的比率达 23.6%，一年内的平均返修率达 86.92%。以

12 频道 31 厘米机为例，平均成本为 351.35 元，每台亏损 34.92 元。1978 年一年亏损 936 万元。当他们认识了可靠性的重要性后，成立了可靠性机构，采取一系列有效措施。到 1983 年面貌一新，电视机的平均无故障工作时间超过了 5000 小时，开箱不合格率低于 2 %；一年内的平均返修率降为 13.28 %，平均成本降为 247.52 元，每台盈余 52.86 元，全年盈余达 6680 万元，对国家作出了贡献。抓可靠性一开始确实要下一些本钱，包括组建相应的可靠性机构在内，但最终总可以大大地节省成本，这是国内外的普遍经验。有些领导至今不体会这一点，这是很遗憾的。

1-3 可靠性工程的发展简史

在朝鲜战争中，美国军用电子产品的可靠性不高，成为一个很突出的问题。雷达出故障而不能工作的时间竟达 84 %，轰炸机上电子设备的平均无故障工作时间只有 20 小时，……。促使美国国防部成立了“国防部电子设备可靠性顾问团”简称“AGREE” (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment)，研究从技术上和组织上能够提高电子设备和元件可靠性的方法和途径。1957 年 7 月，AGREE 的九个工作组共同起草的 AGREE 报告批准公布及执行，建议建立电子设备及元器件的可靠性指标，提出了在研制及生产过程中对产品的可靠性指标进行试验，评定和鉴定的方法，提出了电子产品在生产、包装、贮存、运输等方面要注意的问题及要求等等。AGREE 报告是电子产品可靠性工作的里程碑性文件，至今仍有重大的参考指导价值。

电子元器件的可靠性是电子设备可靠的基础。1958 年 6 月，美国成立了以贝尔试验室主任丹尼尔为首的元器件

可靠性管理委员会，制定公布了各种电子元器件的可靠性军用标准，严格控制电子元器件生产过程的每一个关键环节，使得按军用标准生产的电子元器件，保证达到一定的可靠性水平。其后，美国建立了元器件可靠性的“认证”制度，这已推广到世界范围。国际机构经调查、审定后，可授予一些认证机构以权力，通过可靠性试验及生产质量稳定性的审定，认可某厂生产的某种元器件达到一定的可靠性等级后，容许加上一定的认证标记。

为了核实及比较电子元器件的现场可靠性数据，美国建立了故障数据中心 FARADA 及三军数据交换网 IDEP，并扩大为政府与工业界数据交换网 GIDEP。数据交换中心负责统计并公布电子元器件的现场可靠性。

六十年代以后，由于电子产品愈来愈复杂，对电子产品的可靠性要求也愈来愈高。单靠现场数据已不够对产品的高可靠性进行分析或评定。为此，需要研究产品内部的内在本质缺陷，从根本上探索提高可靠性的途径。这就是“故障物理学”。美国的罗姆空军研究中心（RADC）就是一个重要的故障物理中心。美国不断总结可靠性管理的经验，制订成大家共同执行的标准，其中最重要的是美国军用标准 MIL—S—TD785B。尽管这是美国的可靠性管理标准，但它的主要思想完全适合于我国。

1-4 可靠性是设计出来的、生产出来的、管理出来的

几年前，钱学森同志主持了国防科工委系统的可靠性会议，会上总结了几年来的经验，说“产品的可靠性是设计出来的、生产出来的、管理出来的”。

为什么说产品的可靠性是设计出来的呢？因为如果设计水平不高，譬如说选用了不合适的元器件、材料、工艺等

等，则不论生产过程如何进行严格管理，即使 100% 达到设计要求，产品可靠性还是不高的。因为设计决定了产品的固有可靠性。前几年，洛克希德公司的一位型号经理美籍华人先生，介绍他们的经验说：“最重要的一点是你要把可靠性设计到 (design into) 产品中去”，也就是这个意思。在 60 年代，某些系统也下过可靠性指标，说这个部件要 4 个 9。部件厂照原来的设计及工艺流程把产品生产出来后，拿来一批产品给总体部：“我就是这样的产品，你看几个 9 吧！”，这样，可靠性指标就不起什么作用了。给了几个 9 的可靠性指标，就是根据这个指标选元器件材料、加工精度、质量控制要求，采取一系列的可靠性设计及管理措施进行设计、生产及管理。否则，高可靠性也只仅仅落实在口头，落实不到产品上去。

生产部门要努力实现设计的意图，使产品尽可能达到设计的固有可靠性。这就要对元器件、原材料、外购件进行严格的可靠性及质量控制，对计量测试设备要定期检查，工装设备要定期检查调整，使得它们在使用时都符合要求，要建立及贯彻一系列规章制度，使得人员的操作水平，产品生产过程中的每一道工序的质量的一致性好的，稳定性满足要求，检验及试验部门要严格按设计及工艺文件办事。

管理部门要制订一项有效的可靠性管理规划，使得能以较低的成本达到使用方对产品的可靠性要求。要定期检查可靠性规划，保证规划的进度及可靠性指标得以实现。要保证及督促检查产品是否进行了可靠性设计？要制订电子元器件的筛选要求，可靠性试验计划，可靠性增长规划，……并督促其不打折扣地被执行。要建立质量可靠性信息反馈及校正系统。