

可靠性初级教程

Kekaoxing Chuji Jiaocheng

[日]可靠性研究委员会编

韩 有 悌 译

人 民 邮 电 出 版 社

可靠性初级教程

〔日〕可靠性研究委员会编

韩有悌 译

人民邮电出版社

内 容 提 要

这是一本讲可靠性技术的入门书，对可靠性技术的一些基本内容，诸如：可靠性的定义，数据的收集和分析方法，可靠性的设计、预测、试验，可靠性标准等方面的问题都作了初步介绍。此外对可靠性理论必不可少的基础数学也做了浅显的解释。

本书可供工厂企业的工程技术人员及管理人员阅读。

初等信頼性テキスト

信頼性研究委员会编

日科技連出版社

1973年1月第八版

可靠性初级教程

〔日〕可靠性研究委员会编

韩有悌 译

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津市第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1978年12月第一版

印张：7 页数：112 1978年12月天津第1次印刷

字数：160千字 印数：1—25,000册

统一书号：15045·总2267—有5108

定价：0.57元

译 序

随着科学技术的发展，对电子技术设备的元器件，整机和系统的可靠性提出了更高的要求。可靠性技术越来越引起各方面工程技术人员及生产管理人员的重视。但是目前有关普及可靠性技术的读物还很少。为此，译者本着洋为中用的方针，翻译了日本《可靠性初级教程》一书。

本书是一本入门书，是由日本科学技术联盟的可靠性研究委员会组织编写的，作者都是这个委员会的成员，他们是市田嵩，大津亘，大村平，菅野文友，斋藤嘉博，盐见弘，铃木顺二郎等，他们都是从事可靠性工作的一些单位的负责科研人员和工程技术人员。

关于本书的内容，原序中介绍说：

“这本书包括可靠性的定义和尺度，可靠性数据的收集和 分析，可靠性的设计、预测、规格、试验、维护性等基本内容。此外还包括可靠性理论所必需的基础数学知识。

阅读本书时，读者可根据本身需要读个别章节，但第一章一定要抽空通读。另外，如已具备概率和统计方面的知识，第二章亦可不读。

如上所述，本书以浅显易懂的方式介绍了可靠性这门较新的技术。但本书只能作入门的向导，如同走路要靠自己的两条腿一样，要通过不断的锻炼，要通过可靠性活动的具体实践，才能制造出有实用价值的，享有信誉的，也就是可靠性高的产品。”

这些介绍可供读者阅读时参考。

在本书翻译过程中，承蒙邮电522厂技术情报室和邮电505厂技术情报室的同志参加译校工作，特此致以谢意。

由于译者水平有限，错误和缺点在所难免，希广大读者批评指正。

译者

目 录

第一章 什么是可靠性	(1)
1.1 总论.....	(1)
1.1.1 可靠性的必要性.....	(1)
1.1.2 可靠性历史.....	(2)
1.1.3 可靠性不高的原因.....	(3)
1.1.4 提高可靠性的有计划的措施(可靠性管理).....	(4)
1.1.5 可靠性的经济效果.....	(12)
1.1.6 与可靠性有关的工作.....	(13)
1.2 可靠性的定义和尺度.....	(16)
1.2.1 可靠性的定义.....	(16)
1.2.2 可靠度的数学表示.....	(18)
1.2.3 故障率与劣化的类型.....	(19)
1.2.4 可靠性的尺度.....	(21)
习 题.....	(24)
第二章 基础数学	(25)
2.1 概率.....	(25)
2.1.1 为什么需要概率和统计知识.....	(25)
2.1.2 什么是概率.....	(25)
2.1.3 概率计算的法则.....	(26)
2.2 分散度与分布.....	(30)
2.2.1 中心倾向与代表值.....	(30)
2.2.2 分散度的性质.....	(33)
2.2.3 分散度的尺度.....	(37)
2.2.4 标准离差的计算.....	(39)
2.2.5 总体与样本.....	(44)

2.2.6 分布函数	(46)
2.3 正态分布	(50)
2.3.1 什么叫做正态分布	(50)
2.3.2 正态分布的特征	(51)
2.3.3 加法定理	(54)
2.4 二项分布	(56)
2.4.1 二项分布是什么?	(56)
2.4.2 二项分布的性质	(60)
2.5 泊松分布	(63)
2.6 指数分布	(65)
2.7 数理统计的几种方法	(67)
2.7.1 验证	(67)
2.7.2 相关	(68)
2.7.3 回归	(69)
习 题	(69)

第三章 可靠性数据的收集和分析 (71)

3.1 数据的收集	(72)
3.1.1 可靠度的测定	(72)
3.1.2 可靠度测定的标准和计划	(74)
3.1.3 报告书的形式及应记载项目	(79)
3.1.4 数据体系的监督与处理	(86)
3.2 数据分析	(87)
3.2.1 行列线图	(87)
3.2.2 平均寿命	(89)
3.2.3 残存曲线及其计算	(90)
3.2.4 可靠度函数的求法	(91)
3.2.5 可靠度函数的适合性 (拟合性)	(95)
3.2.6 指数型函数的参数的区间推测	(99)

3.2.7	回归分析	(101)
3.2.8	数量化	(105)
3.2.9	相关分析	(107)
习 题		(108)
第四章	可靠性技术	(111)
4.1	设计与可靠性	(111)
4.1.1	可靠性设计的目的	(111)
4.1.2	系统设计方法	(114)
4.1.3	可靠性设计的要点	(117)
4.1.4	电子系统和机械系统	(120)
4.2	可靠性预测	(125)
4.2.1	可靠性预测的必要性	(125)
4.2.2	测量与预测的关系	(126)
4.2.3	系统可靠度的计算	(127)
4.2.4	具有多余性的系统的可靠度	(135)
4.2.5	特性值变动(倾向故障)的预测	(136)
4.2.6	用于预测的零件数据	(139)
4.2.7	设备故障率的预测程序	(144)
4.3	制造与可靠性	(149)
4.3.1	制造的要素	(149)
4.3.2	制造与质量管理、ZD(无缺陷)运动	(150)
4.3.3	承包单位的生产	(154)
4.4	试验、检验与可靠性	(156)
4.4.1	可靠性试验	(156)
4.4.2	进行试验时的注意事项	(157)
4.4.3	可靠性的抽样检验	(160)
4.4.4	基于指数分布的抽样方式	(162)
4.5	可靠性的规格	(170)

4•5•1 规格和标准	(170)
4•5•2 可靠性条款	(173)
习 题	(174)
第五章 维护与有效度	(178)
5•1 可靠度、维护度、有效度	(178)
5•2 维护管理上的主要因素	(181)
5•3 维护时间的缩短	(182)
5•4 提高维护度的措施	(183)
5•4•1 维护人员的培训	(183)
5•4•2 正确判断故障	(183)
5•4•3 备用机和各用品的适当设置	(184)
5•4•4 维护周期的决定	(186)
5•4•5 其他一般注意事项	(188)
习 题	(189)
附录 1 威布尔分布与威布尔概率纸的用法	(191)
附录 2 数 表	(204)
习题解答	(212)

第一章 什么是可靠性

1.1 总 论

1.1.1 可靠性的必要性

我们买一件东西或做一件东西，总是有一定的目的。例如买一部车子是为了代步。通信和铁路等大的系统也完全一样，要求在任意时刻和对方交换情报，或迅速而安全地到达目的地。总之，都是为了一定目的去完成一件事情。但事物不一定总是按照预想的方式顺利进行。例如，电报可能因一字之误而误了急事。追究其原因，可能是机械故障引起的，也许是由于工作人员操作上的疏忽，有的是由于地震、雷击等自然灾害引起的。不管是什么原因，总之是“没有起到应起的作用”。虽然可以笼统地说“都没有起到作用”，但没有起到作用的程度和损失的大小是不一样的。如果不拿一定的尺度去衡量就无法比较。我们为了把“作用起到的程度”用数量来表现，使用叫作“系统有效度”的概率尺度。这种有效度是由机能、好用不好用、修理、零件的补充等相当多而复杂的因素组成的。广义的可靠性技术就是提高系统有效度的一门综合性技术。

可靠性技术大致可分为四个方面。其一是如何做出故障少而不易损坏的产品，这就是狭义的可靠性技术，设计和生产部门以此为重点。其二是将有故障的产品尽快修理好，从这方面来补偿系统的有效性，这就是维护性技术。其三是情报技术，如以第一、第二两方面比作车子的两个轮子，起车轴作用的就是情报技术。通过对数据的收集、对数据作统计分析和技术分

析，把从生产上考虑的可靠性技术和从使用上考虑的维修性技术有机地联系起来。其四是使车子按照系统的要求运行的管理技术，从全局来决定下列问题，诸如可靠性的分配、多余系统的采用、设备更新的时期及备件的数量、工作人员的训练等等。

1.1.2 可靠性历史

可靠性问题的研究是从第二次世界大战开始的。当时雷达系统发展很快，但其主要部分——电子设备却屡出故障。根据这种教训开始了可靠性的正规的研究。

早期的可靠性研究，重点放在故障占大半的电子管方面，在决定长寿命电子管的规格时，不仅重视其电气性能，而且重视其耐震、耐冲击等因素。

可靠性的系统研究是从1950年开始的。当时美国国防部组成了研究电子设备可靠性的专门机构，1957年发表的研究报告，包括生产或试制时的可靠性测定法、标准规范的编制方法等，范围极广。其基本设想今天仍在使用的。

在这十年间，完成对可靠性的基本研究后，又循着两条不同的道路继续研究，并取得了进展。其一是从使用的角度考虑的可靠性以及从经济上考虑的维护性和成本效用等的研究。其一是对零件的故障进行物性论的研究，并形成了一门新的学科——故障物理学。过去对故障发生的原因总是靠说不清楚的经验及宏观的观察来推测。故障物理学的出现，令人放弃了那种认为故障是偶然性的不可避免的想法，而采取了科学的态度，认真研究发生故障的原因，设法从根本上杜绝故障。

日本是在1956年引进可靠性技术的。这一年电气学会组成了长寿命电子管专门小组，从事调查活动。电气通信学会于

1960年成立可靠性及质量控制专门小组，经常在年会上举行讨论会等活动。

1.1.3 可靠性不高的原因

可靠性不高的直接的、间接的因素很多。现在就其主要因素谈一谈。

(1) 经验不足

我们在技术发展过程中，经常向未知的世界挑战。尽管我们事先对各种可能性都要进行研究，但不能做得很完全。毛病就发生在这里。也就是说，我们常常是以有限的技术知识进行工作。

日本的铁路新干线，速度高达每小时 240 公里，整个号志系统都是电子式的。为此，对以安全为中心的可靠性进行了细致的研究。但是在运营初期仍然发生了意想不到的故障。再如大西洋海缆用的中继器，仍使用着与晶体管时代不相称的电子管放大器，这也是为了尽量避免因没有经验而出现的一些弊病。

积累经验是要花费时间和费用的。时间和经费的限制是阻碍可靠性研究的主要原因。

(2) 设备的复杂性

要求设备具有高级的机能时，自然就要增加结构的复杂性，所用零件也会增多。除了后面所说的多余系统外，一般使用中的任何一个零件发生故障，整个设备就会发生故障。于是，设备不发生故障继续工作的概率，就是所含各个零件不发生故障继续工作的概率之乘积。换言之，设备或系统的可靠性 R_s ，就是各组成部分的可靠性 R_i 的乘积。

$$R_s = \prod_i R_i \quad (1.1)$$

这叫做可靠性的乘积定律。因为 R_i 是小于1的数值，从式知，即使各部分的 R_i 较大，随着设备的复杂性，即零部件数目的增加，总的可靠性会降低。

电视接收机的零件数相当于简易收音机的数十倍。大型电子计算机和雷达等的复杂性就更不用说了。这些复杂设备的出现，大大促进了可靠性的研究。

(3) 组织的复杂化

企业越大，组织越复杂，这会给各部门负责人之间的情报交流增加障碍。例如在很小的企业，设计、制造、销售都由一人负责时，对商品的要求马上就能反应到设计和制造中来。这几方面的情况由一个人来综合考虑并不是什么困难的问题。在大企业中，从推销到制造、设计之间的情报交流，其中有一些消失了，有一些走样了。情报传递时间如有迟缓，对时间性很强的经验的累积和研究工作，都有很大影响。

(4) 人的差错

自动化无论怎样发达，也不会把人由系统中排除出去，反而越来越显示出进行高级判断的人的重要性。但是人的能力是有限的，尽管标准规范、工艺过程等订得很完善，也不能完全免除差错。为了避免系统中的人的差错，要提高操作和检查的自动化水平。这样一来设备就变得更复杂，可靠性也就下降了。对的高级判断的水平要求愈高，其差错对整个系统的影响也就愈大。这种矛盾也愈来愈显著。

1.1.4 提高可靠性的有计划的措施（可靠性管理）

为克服前面所讲的各种障碍，提高系统和设备的可靠性的各种措施，将在第二章以后详细叙述，这里只做一些简单的介绍。

可靠性是一种综合性技术，有关各部门之间的平衡和协调十分必要。因此，要以可靠性组织为中心，制定可靠性计划，并付诸实施，这也是效率最高的方法。有相当一部分故障是设计上的错误造成的，所以为提高可靠性首先要在设计部门推行可靠性教育。这里马上就会出现以下一些问题。诸如：由谁来制订可靠性教育的计划？可靠性设计所需的数据资料应由谁提供？设计所指定的零件和材料是否能买得到？这些问题如没有有关部门的协作，就不能达到预期的目的。可见，可靠性技术

中有很多问题是属于经营管理方面的。

可靠性的设计流程，如图 1·1 所示。这些内容是可靠性程序不可缺少的组成部分，现将各主要项目分述如下。

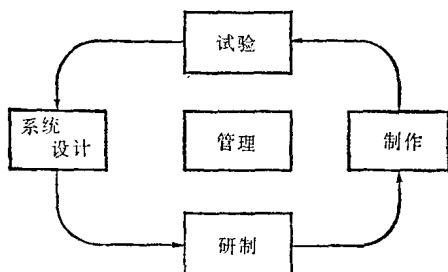


图 1·1 可靠性的设计流程

1. 系统设计

1. 关于可靠性的必要性

为某项目的而设计的系统或设备，所应具备的可靠性水平，应从成本、政策、技术水平、社会需要等各方面来考虑决定。有时为了某种目的，也可不顾成本而要求达到高度的可靠性。当几种目的相重叠时，要找出其中最重要的目的。如何确定可靠性目标？这是经营领导的工作，而可靠性专业小组为了使这些决定正确无误，就有责任提供确切的数据。如果这个目标不能确定，一系列的可靠性计划能否达到目标，也就无从谈起了。

2. 环境条件的分析

对设计的对象事先要调查它在什么样的环境下使用以及其
脉强*应达到什么程度。如果是车载的设备,则要推测震动问
题和在坏路面上行驶时的冲击问题。这种车子如放在炎夏的太
阳地上,车内温度有可能达到 50°C 以上。当车子爬山时,会遇
有由下向上刮的风雨的影响。当第一个系统或设备制成时,一
些意想不到的变化条件会影响可靠性,所以事先应充分考虑到
各种情况下的环境条件。

3. 可靠性预测 (参看4.2节)

为完成某项任务,系统或设备所应具备的机能都应包括在
它的第一个设计方案中。如利用现有技术实现此方案时,“其可
靠性究竟如何?”这种推算可靠性的过程叫作可靠性预测。将
推算结果与原定的可靠性目标进行比较,做为以后修订方案的
依据。预测工作按以下步骤进行。

a) 根据基本机能编制方框图。根据分析的目的不同,一个
方框可看作是触发电路或传动箱之类的小部件,也可以是一个
设备这样大的东西。

b) 制作数学模型。把上面所说的方框图按可靠性的观点重
新组成模型。图1.2a是简单的收音机方框图,振荡或电源如发
生故障,也会影响整个收音机,因而其数学模型如图1.2b所
示,所有的方框都是串联的。

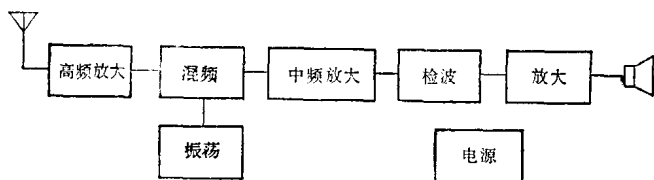


图 1.2a 表示收音机机能的方框图

* 脉强(stress):有的书叫应力。

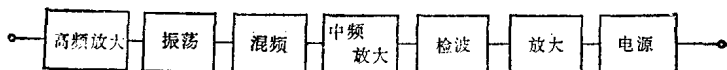


图 1·2b 图1·2a的可靠性模型

c) 根据得到的各种情报，推算各方框的可靠度。推算可靠度时可使用零件一级的故障率表，但这不是唯一的方法。零件是构成设备的基本单位，如能以表的形式表示其故障情况，则这种表的应用范围是很广的。但是，前面所说的触发电路、传动箱等单元的故障率如已知道的话，预测的误差将会减少。此外有关设备的经验性故障率如有所积累，这些数值也是很好的预测数据。

d) 根据数学模型，计算整个的可靠度。

4. 系统的组成

可靠度预测的结果未达到可靠性目标时，或者目标虽已达到，但需要进一步了解是不是用最有效的方法来达到的时候，需要作更细致的分析。

a) 对各种不能兼顾的因素的权衡

在系统中存在着许多阻碍可靠性提高的不利因素。一般随着可靠性的提高，成本也会提高，诸如机能、体积、重量、所需工时等都属于这类范畴。只有当这些因素相互间的相对关系及如何权衡这些因素等问题搞清楚以后，才能明确最佳设计应该是怎样的。

b) 通过对各项任务进行权衡后，再对各组成单元进行可靠度分配。

为在此阶段提高可靠度，可采用多余法。根据前面讲过的可靠度乘积定律，为提高可靠度，结构要力求简单，但多余法是例外。如果单从是否已满足所要求的机能来考虑，多余法在

表面上象是持有多余的组成部分，但在总体上看，这是一种提高可靠度的方法。提高安全系数，或减额使用（在比额定值低得多的胁强水平下使用）也是多余法的一种形态。一零件发生了故障，如另一零件马上代替它的机能，则整个设备仍在继续工作。并列式或转换式的多余法都有这种性质。可用数学方法对此进行较深入的分析（参看4·2节）。

Ⅱ．研制

在此阶段要实现系统设计所要求的各个主要项目的设计。

1. 缓变故障的分析（参看4·2·5）

零件常数，在当初制造时就存在一定的偏差，在使用中又因温度、负载等胁强的影响产生缓慢变化。分析这些变化对整体有何影响，再研究初期值的选择方法和补偿方法。

2. 故障类型的分析

利用过去的经验和记录来分析哪种类型的故障最容易产生。同类作用的零件也会因类型不同，有的会发生短路故障，有的会发生开路故障。例如，属于电子元件的二极管与属于机械元件的继电器，就是这方面的极好例子。

3. 零件的选择（参看4·1·3）

影响可靠性的最小的基本单位是零件。在选用时要研究究竟采取哪种形式的零件，在什么条件下使用才最适合。还要根据过去的可靠度试验记录和简单的比较试验来鉴定不同规格不同厂家的零件的故障率差别，看一看用得是否合适。根据试验和管理的需要，在不影响机能的范围内，所用零件应尽可能统一。

4. 人类工程学

人们通过训练，就能适应环境，熟练地使用机器。但是，今天的复杂设备，例如被密密麻麻的仪表和操纵杆围绕着的飞