

整机系统可靠性设计理论 与实用技术

卢昆祥 编著

天津科学技术出版社



整机系统可靠性设计理论与实用技术

卢昆祥 编著

天津科学技术出版社

责任编辑：苏飞

整机系统可靠性设计理论与实用技术

卢昆祥 编著

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津市宝坻县马家店印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

开本787×1092毫米 1/16 印张24.25 字数585 000

1987年12月第1版

1987年12月第1次印刷

印数：1—10 000

书号：15212·238 定价：5.50元

ISBN 7-5308-0285-2/TN·6

内 容 简 介

本书介绍了电子设备整机系统可靠性设计的理论和方法,全书共分四篇二十个章节,其中第一篇介绍了可靠性与可靠性设计的基础知识,第二篇介绍了整机系统的总体设计,第三篇介绍了保证整机系统可靠性的设计技术,第四篇则介绍了系统可靠性分析技术及可靠性的设计评审。书中含有大量的应用实例和实践资料,内容全面,系统性较强,概念清楚,文字易懂,既可作为普及教材使用,又可直接指导可靠性工程实践。

本书可供从事电子设备可靠性工程设计、管理的工程技术人员学习参考,亦可供大专院校有关专业师生作为教材或参考书使用,对于其他与可靠性设计有关的科技工作者也将有所裨益。

序 言

电子技术的发展日新月异,电子技术在国民经济的发展中起着重要的先导作用。当今世界往往以一个国家电子技术水平的高低,作为衡量其经济、军事和科学技术等现代化水平的重要标志。

随着电子技术应用领域的不断扩大,电子产品的复杂程度提高了,使用条件也愈来愈严酷,因此对电子产品的可靠性也相应地提出了更高的要求。为了提高电子产品的可靠性、维修性和安全性,加强可靠性设计、可靠性试验和可靠性管理是非常重要的。由天津科学技术出版社出版,天津市电子学会可靠性专业委员会协助发行的《整机系统可靠性设计理论与实用技术》,《电子产品可靠性试验》和《电子产品可靠性管理》三本书,意在更广泛的普及可靠性设计、试验和管理方面的理论和技术,培训更多的专业人才,推动和指导可靠性工作更加卓有成效地开展,为提高我国电子产品的可靠性水平做出一点贡献。

上述三本书由天津市电子学会可靠性专业委员会委员、天津通信广播公司工程师卢昆祥编著。作者有多年从事可靠性实践和理论研究的经验和基础,经常发表学术论文,曾多次在国内同行业中讲学,因此该书具有内容丰富、理论联系实际、实用性强等特点。同时在选材方面也充分兼顾了国内现实情况与未来发展的需求,确属比较系统、完整和有使用价值的教材或参考书。现敬献给读者,诚望认真一读,从中寻求有益的启示,获得智慧和力量。

电 子 学 会 常 务 理 事
天津市 孙体生
电子学会可靠性专业委员会主任

1987.7

前 言

随着现代科学技术的飞速发展和新技术革命的掀起,电子设备越来越广泛地应用于各个领域,设备本身日趋复杂,使用条件也愈来愈严酷,因此,对设备的可靠性要求愈来愈高。

近几年来,可靠性已被更多的人所了解,其重要性也被愈来愈多的人所认识,可靠性工作迅速地开展起来,产品的可靠性水平不断提高。但是,由于管理体制、人才培养和资金等方面存在一定的问题和困难,使我国电子产品的可靠性水平还远远落后于国际水平。特别是军用设备的可靠性与国际水平的差距更大。所以,为了国民经济建设、国防建设的需要而提高我国电子设备的可靠性水平已经是当务之急。

要提高设备的可靠性,首先要抓设备的优生,开展可靠性设计是实现产品优生最重要、最有效的手段之一。要开展可靠性设计,则首先要开展可靠性教育,培养可靠性方面的人才。但是,一般的可靠性基础理论或入门的书籍,能使人们增加对可靠性的认识,还不能解决工程实践的需要。生产方的工程技术人员或使用方质量监督机构的代表,不仅要了解可靠性的基本概念,还要了解实施可靠性工程的各项技术;不仅要了解可靠性设计、制造、管理及试验方面的要求,更重要的是要知道怎样去实现这些要求,如何去检查这些要求是否达到。因此,就需要既有基本理论,又能结合工程实践,为生产方开展可靠性设计和使用方代表进行可靠性设计审查解决“桥”和“船”问题的一本读物。《整机系统可靠性设计理论与实用技术》一书,就是本着解决上述问题编写的。

为了便于初学者由浅入深地学习和掌握可靠性设计技术,本书第一篇介绍了可靠性与可靠性设计的基本概念,应用于可靠性工程的数学方法,以及可靠性数学特征量的概念与计算方法;为了解决可靠性设计工作如何入手和总体方面要做哪些工作,第二篇用大量的篇幅介绍了整机系统的可靠性设计,如指标论证、设计程序及任务书、可靠性预计和分配等,并列举了很多实例及作者的实践体会;第三篇详细地介绍了各种可靠性设计技术的理论与方法;第四篇阐述了可靠性分析技术与设计评审的理论和步骤。

书中费用的设计、人机工程设计、维修性设计等章节,是参考国内外有关资料编写的,是可靠性设计的重要内容。根据目前情况,要进行定量的分析,由于缺乏经验和数据,做起来是有困难的。但是,对于这些问题的定性分析,以及在设计中采取相应的技术措施,以提高产品可靠性水平,却是办得到的。同时,还可为今后开展这些工作,需要积累哪些数据资料,如何积累这些数据资料提供指导。

本书的主要内容编者曾多次在有关省市或单位举办的“可靠性设计学习班”上讲授过,接受了审查,同时也得到了提高。例如,基础知识,指标的论证和确定、设计程序与设计任务书等整机系统设计内容,多举实例和多介绍实际工作方法,每一章都有复习题等,都是根据同志们的建议和要求,为适应可靠性普及教育与工程实践的需要而修改和补充的。当然,应该说明,本书的复习题是为了帮助读者理解和掌握书中各章的基本理论和技术而提出的,是基本的。对有些读者来说,可能难度和广度不够。那么请您参阅文献〔3〕、〔12〕、〔18〕、〔33〕等有关资料。最好是结合工程实践的需要,把工作中遇到的实际问题当习题来做,那就更有意义,效果也就更好了。

本书编著过程中,技术上得到了中国电子学会电子产品可靠性与质量管理学会委员、机械工业部仪表局可靠性顾问组组长、天津市电子学会可靠性专业委员会副主任、天津大学管理系林青副教授的大力帮助和指导,并为本书做了技术审查,在此表示衷心的感谢。向为本书编著提供过各类参考资料和提出过宝贵意见的同志们表示感谢。同时,还向为本书编著、出版和发行提供过支持、帮助及操劳的天津通信广播公司、天津市电子学会可靠性专业委员会、天津科学技术出版社的有关领导和同志致以深切的谢意。

最后,由于本人水平所限,掌握的资料比较少,实践也很不够,书中定会有错误和不妥之处,恳切欢迎广大读者批评指正。

编著者

1986年12月于天津

目 录

第一篇 基础知识

第一章 概论

§1.1 可靠性问题的提出	(1)
§1.2 什么是电子设备的可靠性	(3)
§1.3 固有可靠性和使用可靠性	(5)
§1.4 研究可靠性的意义与经济效益	(6)
§1.5 可靠性工程的特点	(8)
§1.6 可靠性增长	(10)
§1.7 可靠性设计的工作内容与可靠性设计的重要性	(11)
复习题	(13)

第二章 可靠性与可靠性数学

§2.1 可靠性工程和数学方法	(14)
§2.2 概率基础	(14)
§2.3 概率的基本法则	(16)
§2.4 排列和组合	(19)
§2.5 随机变量、分布函数、分布的参数	(20)
§2.6 可靠性常用的概率分布函数	(20)
复习题	(28)

第三章 可靠性的数学特征量

§3.1 规定产品可靠性数量特征的意义	(30)
§3.2 设备可靠性的真值	(31)
§3.3 可靠性的主要数量特征	(32)
§3.4 设备技术规范中可靠性指标的描述	(49)
复习题	(50)

第二篇 整机系统的可靠性设计

第四章 可靠性指标论证及可靠性设计程序

§4.1 整机系统可靠性设计的基础工作	(53)
§4.2 可靠性设计的主要任务	(55)
§4.3 可靠性设计程序	(57)
§4.4 可靠性指标的论证	(58)
§4.5 确定整机系统可靠性指标的原则和方法	(60)
§4.6 拟制可靠性活动规划与可靠性设计任务书	(61)

复习题.....	(71)
第五章 可靠性结构模型与数学模型	
§5.1 建立可靠性模型的条件与原则.....	(72)
§5.2 可靠性结构模型的建立.....	(74)
§5.3 建立黑白电视接收机分层次可靠性结构模型的实例.....	(79)
§5.4 可靠性结构模型与数学模型.....	(80)
复习题.....	(95)
第六章 可靠性预计	
§6.1 可靠性预计的作用.....	(96)
§6.2 可靠性预计的局限性.....	(96)
§6.3 可靠性预计的方法和程序.....	(97)
§6.4 详细的元器件应力分析预计法举例.....	(114)
复习题.....	(117)
第七章 可靠性指标的分配	
§7.1 可靠性指标分配的作用.....	(118)
§7.2 可靠性分配的基本原则和注意事项.....	(118)
§7.3 可靠性分配方法.....	(120)
§7.4 含有贮备部件的系统的可靠性分配.....	(135)
§7.5 单一约束条件下冗余度的简单分配方法.....	(138)
§7.6 利用筛选数据进行可靠性分配方法的探讨.....	(140)
复习题.....	(142)
第八章 费用的设计	
§8.1 费用设计的基本概念.....	(144)
§8.2 费用和可靠性指标的确定.....	(148)
§8.3 满足费用和可靠性指标要求.....	(160)
复习题.....	(167)
第九章 可靠性设计与人的关系	
§9.1 引言.....	(168)
§9.2 设计与生产.....	(169)
§9.3 人的因素理论与人的工程.....	(169)
§9.4 人的因素与可靠性之间的关系.....	(170)
§9.5 人-机分配与可靠性.....	(171)
§9.6 相互作用与综合平衡.....	(175)
§9.7 人的差错率的研究与预测方法.....	(175)
§9.8 人机工程设计的一般要求.....	(176)
复习题.....	(178)
第十章 系统的维修性设计	
§10.1 可靠性、维修性和有效度的关系.....	(179)
§10.2 维修性设计的一般概念.....	(181)

§10.3	维修度预计方法	(186)
§10.4	可维修性指标的分配方法	(186)
§10.5	提高设备维修性的设计措施	(189)
复习题		(191)
第十一章 安全性设计		
§11.1	可靠性与安全性的关系	(193)
§11.2	安全性设计的要求和措施	(193)
复习题		(196)

第三篇 保证整机系统可靠性的设计技术

第十二章 元器件工程与降额设计

§12.1	整机系统中实施元器件工程的重要性	(197)
§12.2	整机系统中元器件工程的主要内容	(198)
§12.3	元器件筛选	(200)
§12.4	降额设计	(201)
§12.5	降额设计的原则	(214)
§12.6	元器件选用准则及其在工程中的应用	(215)
复习题		(223)

第十三章 冗余(贮备)设计

§13.1	概述	(224)
§13.2	冗余设计技术的分类及其功能	(225)
§13.3	冗余设计技术介绍	(227)
§13.4	冗余系统的选择	(234)
§13.5	使用冗余系统应考虑的因素	(236)
§13.6	典型的冗余设计举例	(238)
复习题		(244)

第十四章 环境影响及耐环境设计

§14.1	环境条件对设备可靠性的影响	(245)
§14.2	热设计技术	(248)
§14.3	防冲击和振动设计	(260)
§14.4	其它的耐环境设计措施	(269)
复习题		(272)

第十五章 参数漂移可靠性设计

§15.1	参数漂移可靠性设计的意义	(273)
§15.2	电路参数漂移的描述	(274)
§15.3	参数漂移的分析与模型	(276)
§15.4	参数漂移可靠性设计分析方法和设计实例	(278)
§15.5	电路参数漂移可靠性指标	(289)
§15.6	防止电路参数漂移的设计措施	(289)

复 习 题	(290)
第十六章 电磁兼容设计	
§16.1 电磁兼容 概 述	(291)
§16.2 电磁干扰源及干扰引入 方式	(292)
§16.3 电磁兼容设计的一般要求与指 标 值	(299)
§16.4 抑制电磁干扰的一些 方 法	(310)
§16.5 电磁兼容性设计 技 术	(311)
复 习 题	(323)
第十七章 其它的可靠性设计技术	
§17.1 防止或延缓生产和使用过程中可靠性退化的 设 计	(325)
§17.2 简化电路设计及减少元器件品种和 数 量	(333)
§17.3 集成化 设 计	(334)
§17.4 采用成熟的新 技 术	(335)
复 习 题	(336)

第四篇 可靠性分析技术及可靠性设计评审

第十八章 失效模式、影响及危害度分析	
§18.1 概 述	(338)
§18.2 失效模式 分 析	(339)
§18.3 危害度 分 析	(341)
§18.4 FMECA所需资料和实施 步 骤	(344)
§18.5 举 例	(346)
复 习 题	(348)
第十九章 失效树分析法	
§19.1 概 述	(349)
§19.2 失效树的 构 成	(350)
§19.3 建立失效树的 实 例	(354)
§19.4 失效树的定性 分 析	(357)
§19.5 失效概率或可靠度的 计 算	(361)
复 习 题	(362)
第二十章 可靠性设计评审	
§20.1 设计评审的作用和 目 的	(363)
§20.2 设计评审的准备及评审的内容 范 围	(365)
§20.3 设计评审的组织及成员 职 责	(369)
§20.4 设计评审的程序与 结 论	(369)
复 习 题	(372)
参考文献	

第一篇 基础知识

第一章 概 论

整机系统是指在地面、海洋和空中使用的各种电子系统、整机或它们的能够独立完成某些规定功能的分系统、分机或单元,通常简称设备。因此,本书中所讲的“整机系统”与“设备”是同义的。尽管它们实际上存在着复杂程度、体积大小、功能多少的差异,但它们都是能够独立完成一种或多种规定功能的集合体。

随着电子技术的迅速发展,电子设备在国防、科研、工农业、以及民用等方面的应用越来越广泛,而且有些电子系统越来越复杂,使用环境也越来越严酷。因此,人们对电子设备的性能、质量和可靠性的要求也越来越高。为了满足用户的使用要求,并且使产品在创优评比和市场竞争中获得良好效果,提高设备可靠性水平是十分必要的。而开展设备可靠性设计又是保证和提高设备可靠性的基本途径和重要手段。就设备可靠性设计本身而言,要做的工作是很多的,各项工作包含的内容也很多,如整机系统可靠性指标论证和确定、可靠性结构模型和数学模型、可靠性预计与分配、保证整机系统可靠性的降额设计、冗余(贮备)设计、耐环境设计、电路参数漂移可靠性设计和电磁兼容设计、失效模式影响及危害度分析、失效树分析等各项设计技术,还有与设备可靠性紧密关连的维修性、安全性设计,以及可靠性设计评审等等。因此,为了推动可靠性设计工作的开展,必须在认真研究、积极采用国际标准和国外先进标准经验的基础上,合理地设计和正确地实施各项可靠性设计技术,同时,结合我国的国情,掌握一套设备可靠性设计的基本理论和实践方法。关于上述问题将在以后的各章中一一予以阐述。本章首先阐述几个与以后各章内容有密切关系的基本理论问题。

§ 1.1 可靠性问题的提出

可靠性问题萌芽于本世纪20年代,30年代人们对这个问题有了进一步的认识。然而,可靠性作为一门工程学还是孕育诞生于40年代,孕育诞生于第一次和第二次世界大战中,孕育成长于产品不可靠给人们带来的血的教训中。产品可靠带来成功的经验,产品不可靠带来的失败和教训,使人们逐步加深了对可靠性问题的认识。所以,可靠性问题是人们在社会实践的基础上,随着客观形势的需要而产生和发展起来的。当然,应该指出,可靠性问题的提出和对产品提出可靠性的要求,首先是从社会的原因出发,而不是由于工程方面的考虑而作出的决定。所谓社会原因,通常包括以下四个方面的内容。

一、政治方面的原因

无论是哪个国家,产品的先进性和可靠性对这个国家的国际地位、国际声誉及国际贸易都有很大的影响,因而各国领导集团都很重视这个问题。国际电工委员会前主席里昂·波多

斯基博士曾以日本国第二次世界大战后设立国际贸易和工业部的例子来说明这个问题。在第二次世界大战以前，日本厂商是以善于仿制别国产品著称的，但仿制出来的都是质量低劣的产品。因此，日本产品不论在美国或在其它国家，都有低质仿制品的恶劣名声。第二次世界大战后，日本政府为了能够出口优质品，设立了国际贸易与工业部，并且发出命令，要求日本各工厂设立质量保证部，同时要求生产出口商品的每一家工厂都应建立可靠性规划。由于采取了这一重要措施，使战后的日本得以生产出高可靠产品，特别是电气、电子产品的质量与可靠性水平提高得很快。众所周知，现在日本产品的质量与可靠性水平已列入世界先进行列，在国际贸易市场上享有一定的声誉。

二、军事方面的原因

由于设备的失效，将会导致军事行动的失调，战斗任务的失败，兵员的伤亡等，而战斗任务的失败将直接关系到国家的安全。因此，军事当局深知军事装备可靠性的重要性，从而对它提出了高可靠性的要求。

三、工业方面的原因

各工业部门的工厂和研究机构的领导，深知每台设备失效都会影响生产，造成经济上的损失。特别是大型的自动化程度较高的企业，有时一部关键设备失效将会导致工厂停产，蒙受巨大的损失。同时因事故工厂不能按时向用户提交产品，还要负担合同责任和赔偿费用等。所以，工业方面也强烈要求设备具有高的可靠性。

四、经济和市场的因素

产品的质量和可靠性水平，是工厂争得市场、获得信誉的决定性因素，也是工厂取得经济利益的重要保证。特别是工厂的管理干部和销售人员深深懂得由于产品不可靠而招致用户不满意而失去市场时应负担的重大责任和要蒙受的经济损失。因此，从市场竞争及企业经济利益考虑，也十分需要产品的高质量和高可靠性。

由此可见，可靠性工程孕育和产生于社会实践中。然而，可靠性工程得到迅速的发展，又是跟社会的客观需要与科学技术的发展，特别是与电子工业的迅速发展分不开的。先进的科学技术和现代化的战争，使得电子设备越来越复杂，使用条件越来越复杂和严酷，应用的范围越来越广泛，因而对电子设备提出了更高更强烈的可靠性要求。

一、电子设备复杂程度越来越高

早期的电子设备比较简单，应用范围也小，可靠性问题并不突出。可是，随着科学技术的发展和现代化战争的需要，对电子设备性能的先进性要求越来越高，使电子设备越来越复杂。例如，一个简易收音机只有几个元器件。一部黑白电视机或民用电台有几百个元器件。一部彩色电视机或一部航空电台有几千个元器件。雷达和一般的电子计算机有几千到几万个元器件。而卫星地面站、反导弹系统、大型电子计算机或宇宙飞船要用一百万个到几千万个元器件。使用的元器件越多，要保证产品的可靠性就越困难。电子设备的可靠性问题也就越严重，而对电子元器件的可靠性要求也就相应地越来越高。

二、电子设备的使用条件越来越复杂和严酷

电子设备在各个领域内的广泛应用，使其使用环境日趋复杂和严酷。温度、湿度、振动、辐射、电磁干扰等各种环境条件，对产品的可靠性都有严重的影响。这就需要研究环境条件对可靠性的影响和如何提高产品在不同工作条件下的可靠性。条件愈恶劣，要保证产品可靠性愈不容易。例如，热带地区使用的设备，要能防高温耐潮湿。海上的电子设备要有防潮防

盐雾及抗冲击振动的能力。宇航电子产品要考虑高速摩擦热、宇宙粒子、核辐射、振动加速度对它的影响。飞机用设备除了要求耐冲击和耐振动外,还要求承受 $-55\sim+70^{\circ}\text{C}$ (甚至更高)的温度应力。卫星在六万英尺高空要承受 -90°C 的低温。而安装在导弹上的电子设备要承受 125°C 的高温,还要承受导弹发射和改变方向时产生的振动、加速度和离心力等等。复杂的恶劣的环境条件,对电子设备提出了越来越高的可靠性要求。

三、电子设备的应用范围越来越广泛

从每个家庭到工业、农业、国防、尖端科学等各个领域,都离不开电子产品。电子产品应用范围的广阔,产品数量的浩繁,以及一旦失效就会对政治、军事、经济、科研、直至人民生活等各方面产生严重的影响,有时还会造成巨大损失,这就迫使人们不得不将可靠性问题放在重要的地位上进行专门的研究。

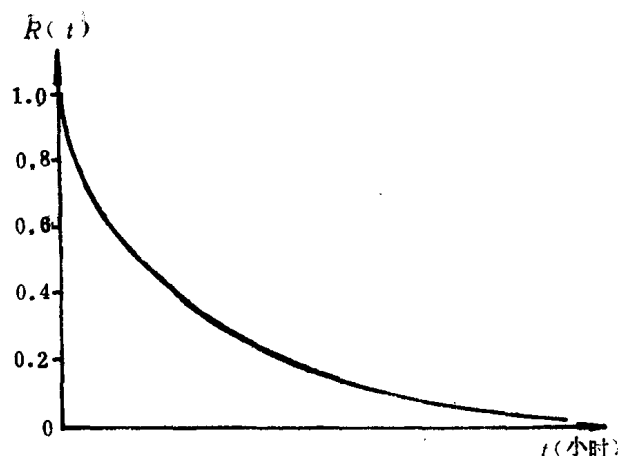
综上所述,人们在社会实践中,在因产品不可靠而导致失败的教训中提出了可靠性问题。又由于科学技术的进步、现代化战争的需要、国民经济发展和人民生活的需求,使得电子工业迅速地发展起来。然而,电子设备的复杂性、使用环境的严酷性、应用范围的广泛性,既推动了可靠性工程的迅速发展和电子产品可靠性水平的迅速提高,也使得进一步提高电子产品的可靠性愈来愈困难。由于电子产品的可靠性问题越来越严重,需要与可能的矛盾愈来愈尖锐,人们不得不将可靠性问题作为一门工程学进行专门的研究。

§ 1.2 什么是电子设备的可靠性

可靠性是对一部设备投入使用时无故障工作能力的度量。可靠性有各种各样的定义,我国国家标准规定的定义是:产品在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的能力〔25〕。对电子设备而言,那就是电子设备在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的能力,称为电子设备的可靠性。

根据可靠性的定义不难看出,设备可靠性高低是表示设备在规定条件下,规定时间内,完成规定功能的可能性的。在数学上则定量地以概率来表示。某个设备究竟什么时候失去完成规定功能的能力而失效是不能确知的,只能借助于数理统计的方法加以估计。为了使可靠性定义中的“能力”这一抽象的概念不致含糊不清,需要用概率论和数理统计的数学工具对可靠性进行定量的研究。定量地表示设备可靠性的数学特征量有可靠度、累积失效概率、失效概率密度、失效率、有效度等,但通常采用可靠度或平均无故障工作时间(MTBF)来表示。所谓可靠度,就是设备在规定条件下,规定时间内,完成规定功能的概率〔25〕。可靠度用图1.1-1中的 $R(t)$ 表示。所谓平均无故障工作时间,就是设备无故障工作时间的平均值〔25〕。

应该特别指出,某个产品的固有可靠性是随着设计的修改,使用条件的不同,以及工作过程中的性能退化而不断变化的。因此,是无法确知的,只能从确定是符合使用条件的可靠性预计值或试验验证值中得到估价。所以,可靠性可以说是对事物认识的水准而不是事物的本来状态〔18〕。还应指出,可靠性不是指一个产品而言的,而是对一批或多批相同产品而言的。对于一个产品,谈不上可靠性,因为个别现象不是发生,就是不发生,针对个别现象谈概率是没有任何意义的。所以,可靠性不能用来预计单个事件,只能预计概率和平均数〔18〕。可靠性不能预计一个设备能工作多长时间就失效,但是,可以借助于统计的方法,预计一个



1.1-1 指数分布的可靠度函数

设备在规定时间内工作的概率或者在某一时间内将发生故障的平均数或平均无故障工作时间 (MTBF)。因此, 研究可靠性时, 应建立统计概率的观点。同时, 还应认识到可靠性所具有的统计特性。

设备可靠性与“规定的条件”是分不开的。任何设备研制的时候都是根据规定的使用条件进行的。这个使用条件包括工作条件 (如功能模式、操作方式、负载条件、工作能源、维护条件等) 和环境条件 (如温度、湿度、气压、振动等)。同一种设备在不同的工作条件 and 环境条件下, 可靠性是完全不同的。因此, 在评价一种设备可靠性时, 必须明确其所处的工作条件和环境条件。

设备可靠性与“规定的时间”有密切关系。规定时间的长短又随着设备服务对象的不同与使用目的的不同而异。设备的可靠性是时间的函数, 随着时间的推移而不断变化。设备使用一小时的可靠性与使用一万小时的可靠性水平是不一样的。即使元器件经过筛选和整机经过老炼及维修, 设备在偶然失效区工作的情况下, 这一段时间内的失效率是一个常数, 但是, 设备可靠度随时间的分布规律仍符合图1.1-1所示, 即使用的时间越长, 可靠度越低。因此, 在研究设备可靠性问题时, 要充分认识到可靠性的这种时间特性。在评价一种设备的可靠性时, 必须指明多长时间内的可靠性, 也称任务时间内的可靠性。离开时间谈可靠性是无意义的。

设备可靠性与“规定的功能”有密切关系。所谓“功能”, 就是设备的主要性能指标和技术要求。这是设备完成规定任务和作用的保证。设备所谓不可靠, 所谓失效, 就是针对设备是否满足规定的性能指标和技术要求而言的。设备的性能指标和技术要求越高, 允许变化的范围越小, 设备要完成“规定功能”的可能性就越小, 这种设备的可靠性水平就越低。反之, 设备的性能指标和技术要求越低, 允许变化的范围越宽, 设备能够完成“规定功能”的可能性就越大, 因而设备的可靠性水平就越高。因此, 评价一种设备的可靠性, 离不开设备的规定功能。

研究设备可靠性时, 还应认识到可靠性工程是一种综合技术。可靠性技术与管理贯穿在产品规划、设计、生产和使用的全寿命周期中, 而且可靠性技术涉及到很广的技术领域, 如, 可靠性数学、失效物理学、试验技术与试验分析技术、元器件工程、可靠性标准及可靠性管理等, 同时又与上至国家机关, 下至各工业企业部门, 直至每个用户都有关系。可靠性具有强烈的社会性, 某个国家产品的可靠性水平就反映了这个国家的工业基础和科学技术水

平。回顾电子产品的可靠性理论及技术上的发展,就是在第一次和第二次世界大战中萌芽和发展起来的。至今,可靠性技术依然是军备竞赛以及市场竞争的热门货。可靠性已经被人们认为是与国家安全、企业存亡密切相关的一门科学。因此,可靠性技术与管理,从它孕育诞生及成长都带有强烈的社会性,都为各国领导集团及社会各个部门所重视。可靠性工程具有可靠性技术与管理的双重性特点。可靠性工程学怎么发展起来的呢?是因为通过第一次和第二次世界大战的实践,首先使美国军方认识到单靠一般的质量管理不能保证设备的可靠性,必须加强可靠性基础理论及工程技术的研究和应用,再加上管理科学的发展,才使可靠性发展成为一门新兴的专门学科——可靠性工程学。可靠性工程=可靠性技术+可靠性管理。要提高产品的可靠性,必须实施可靠性技术。但是光有技术还不行,还必须用可靠性管理方法将研究、设计、生产和使用各个阶段有机地结合起来,才能保证将可靠性技术“制作到”产品中。

综上所述,在研究设备的可靠性问题时,我们必须牢牢掌握可靠性的三大要素,即时间、条件和功能。建立一个基本观点,即统计概率的观点。并且充分认识到可靠性所具有五个特性,即时间性、统计性、综合性、强烈的社会性、技术与管理的多重性。

现在让我们以购买电视机为例来解释一下什么叫可靠性的问题。人们来到商店购买电视机,首先看一看屏幕大小,造型是否美观,价格是否便宜,接着通电看看图象是否清晰,伴音是否好听,如果都满意就购买。但是,买回家以后,在市电电压及室温条件下,用多长时间不坏?用一年要坏多少次?性能是否能保持在购买时的水平上等等就不知道了。因此,在商店所看的一切是电视机的性能指标问题,而买回家后在一定温度及电压条件下,用多少时间不坏,或在某一时间范围内坏多少次,在一定时间内电视机能够维持原有性能水平的能力等,就是电视机的可靠性指标,它与使用的条件,使用的时间,以及性能的变化对能否保证满意的收看电视节目的影响等都有着密切的关系。如果有100台电视机,用户用了一年,坏了5台次,那么,这100台电视机在市电电压、室温条件下,使用一年的可靠度为95%。也就是说这100台电视机在规定条件下,规定时间内,完成规定功能的概率是95%。平均无故障工作时间是多少呢?假设每台电视机每天用5小时,一年的使用时间就是1 825小时,100台电视机就是182 500小时,共出现5次故障,那么平均无故障工作时间就是36 500小时,即 $MTBF = 182\,500/5 = 36\,500$ 小时。

应该特别指出,从使用的角度来看,在基本性能指标满足使用要求的前提下,设备最重要的指标是可靠性指标。如果设备不可靠,性能不稳定,经常发生故障,则这种设备最初性能再好也没有实际意义,更没有经济效益。

§ 1.3 固有可靠性和使用可靠性

设备在用户手中实际使用(运转)时所显示出的可靠性,称为工作可靠性(Operational Reliability),用 R_u 表示。 R_u 由固有可靠性 R_I (Inherent Reliability)和使用可靠性 R_u (Use Reliability)所构成。

固有可靠性 R_I 是生产厂在研制和生产过程中制造者确立的可靠性。它是从对系统(硬件、软件、人为因素)或产品确立可靠性的规划阶段开始,经与其它各种性能指标综合平衡而确定的可靠性指标。因此,它与材料和零部件的选择、设计、制造、直到生产出产品为止

的各个阶段都有密切关系。固有可靠性是产品内在的可靠性，是生产厂在模拟实际使用条件下经过检测并予以保证的可靠性。

从另一方面来说，可靠性还与产品的使用有关。生产厂制造出来的具有可靠性的产品在转给用户的过程中，要经过包装、运输和贮存等环节。在实际使用过程中，还要受到环境、操作状况和维修（维修方式和维修技术）等因素的影响。在实际使用时，人为因素对产品可靠性的影响也很大。因此，人们把这种关于产品在使用上的可靠性称为使用可靠性。用 R_u 表示。

工作可靠性 R_o 、固有可靠性 R_I 和使用可靠性 R_u 之间有下列近似关系：

$$R_u \approx R_o / R_I$$

$$\text{即 } R_o \approx R_I \cdot R_u$$

此式很不精确。一般说来，在实际使用时，使得固有可靠性 R_I 降低的因素很多。但是，如果产品在较好的环境中使用，并加强维修与保养，又可以大大提高产品的工作可靠性 R_o 。

总之，要提高产品的工作可靠性，生产厂必须保证产品的固有可靠性。要保证产品的固有可靠性，必须从企业规划、签订合同开始，直到预研、设计、生产、试验、检验、评审等所有环节都要进行周密的计划和组织，并把整个过程有机地结合起来。同时生产厂还要将产品的使用方法教给用户。而用户呢，也应采取适当的措施加强对设备的管理，加强对设备使用人员的技术培训等，以便提高设备的使用可靠性。

§ 1.4 研究可靠性的意义与经济效益

一、研究可靠性的意义

当人们正在聚精会神地观看精采的电视节目时，电视机图象没有了；在万人大会进行中或剧场演出过程中，麦克风或扩大器突然没有声音了，当时人们那种十分焦急的心情，可以想象产品可靠性是多么重要啊！由于电子设备广泛应用于工农业、交通运输、科研、文教卫生等各行各业，家用电器广泛应用于千家万户，设备的可靠性就直接关系到国民经济建设和人民群众的生活，所以，深入研究产品的可靠性的意义是非常重大的。

为了保卫国家的安全和取得战争的胜利，迫切需要研究产品的可靠性。回顾第二次世界大战期间，由于产品不可靠，导致军事上的失利，兵员的伤亡，所造成的重大损失，使得人们在血的教训中认识到不研究产品可靠性是不行的。据统计，当时美国运往远东的作战飞机上的电子设备，在运输途中，由于振动、气候等原因，到达基地时有60%已损坏。在基地仓库贮存时有50%失效。1949年美国有70%的电子设备失效。一个正在使用的电子管要有九个新的电子管作为随时替换的备用元件。1951~1952年，一般电子设备14%有故障，48%的水声设备不能工作，雷达甚至有84%的故障率。美国空军每年的维修费为设备本身价的二倍。有三分之一的地勤人员从事电子设备的维修工作。50年代初期，美国在朝鲜战争中电子设备维修费超过采购费，国防部已无能为力来负担由于武器失效而造成的经济与兵员方面的损失。在战场和国内双重压力下，1952年8月，美国国防部成立了“电子设备可靠性顾问小组”（即AGREE——Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment），对电子设备的可靠性进行专门的调查和研究。

现代化的战争将是电子战争。可以想象，如果雷达系统正在荧光屏上紧紧跟踪敌军机群