

实用机电工程系列教材



电子产品的 可靠性与安全性

● 唐宪明 罗绮心

华中科技大学出版社

实用机电工程系列教材

电子产品的可靠性与安全性

DIANZI CHANPIN DE KEKAOXING YU ANQUANXING

唐宪明 罗绮心

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子产品的可靠性与安全性/唐宪明 罗绮心

武汉:华中科技大学出版社, 2002年1月

ISBN 7-5609-2631-2

I. 电…

II. ①唐… ②罗…

III. 电子产品-可靠性-安全性

IV. TN

电子产品的可靠性与安全性

唐宪明 罗绮心

责任编辑:徐正达

封面设计:潘 群

责任校对:章 红

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:6.75

字数:145 000

版次:2002年1月第1版

印次:2002年1月第1次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5609-2631-2/TN·64

定价:8.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书主要介绍了电子产品可靠性的基本概念和基本知识、产品的失效规律以及产品寿命的试验方法,进而阐述了提高产品可靠性的途径和方法,同时,还介绍了一些有关产品安全性方面的基本知识。

本书是高等职业技术学院电子类专业限选课程教材,也可供从事电子工业产品开发、设计、生产的工程技术人员参考使用。

序 言

在千年钟声敲响、人类跨入新世纪之际，我们欣喜地看到，高等教育的模式正在从单一化向多样化、柔性化、社会化和现代化方向发展；正是这一发展，使得高等教育展现出蓬勃的生命力。真可谓“忽如一夜春风来，千树万树梨花开”。

以信息科技为重要标志的高新科技革命的飞速发展，正在改变着世界的面貌和人类的生活方式，推动着知识经济的到来。这就给高等教育改革的探索和研究提出了更高的要求。世界经济发展中最激烈的竞争，将不仅表现在经济和生产领域，而且更表现在培养人才的教育领域，特别是高等教育领域。因为在当今，经济的竞争，科技的竞争，一切的竞争，归根结底是教育的竞争，是人才的竞争，所以，江泽民同志指出：高等教育是教育的龙头。随着高新科技同机械行业的结合，现代机电产品不再是单纯的机械构件，而是由机械、电子、计算机等有机集成的所谓“机电信息一体化”产品。因此，现代机械制造越来越多地体现着知识经济的特征，“以人为本”的新观念正在取代“以技术为本”、“以先进设备为本”的传统观念。在这种情况下，社会对机械类高素质人才的需求也随之变化，人才的创新能力、实践能力需要大力加强，知识结构需要向通用、广泛、适应性强的方向转化。

现代机电工程就是机械工程技术与信息科技等现代科技的紧密结合，然而，既是机电专业而不是别的专业，自己专业的基础、自己专业的实践是丝毫不能忽视的。“九层之台，起于垒土”，“千里之行，始于足下”，离开了基础，离开了实践，一切将会成为空洞，机电专业就更是如此。

为顺应高等教育改革的潮流，华中科技大学出版社继推出“21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”之后，又推出了这套“高等学校实用机电工程系列教材”。两套教材各有侧重，相得益彰，不同的学校可以根据自己的特点和教学要求选择不同的教材。

这套系列教材的特色在于：体现了人才培养的层次性、知识结构的交融性和教学内容的实践性。它降低了专业重心，拓宽了学科基础，对传统的课程内容进行了整合，加强各方面知识的融会贯通。特别值得一提的是，它强调实践能力的培养和基本技能的训练，以培养综合型、实用型人才为主要目标。

这套教材是20多所高校长期从事教学和教学改革的教师用辛勤的汗水编写而成的，特别是一些高等职业技术学院、高等专科学校的参与，给这套教材增添

了更多的色彩。教材的作者认真贯彻了“教育要面向现代化，面向世界，面向未来”的战略思想，倾注了他们教学改革中的大量心血，反映了他们丰富的教学经验。“衷心藏之，何日忘之？”我们对参加这套教材编写的老师们和积极支持这套教材出版的学校表示衷心的感谢。我们相信，这套系列教材对各学校的教学改革、机电工程类高质量人才的培养能够起到积极的促进作用。

人非圣贤，孰能无过？书非白璧，孰能无瑕？由于编者经验不足，时间有限，形势的发展也在不断提出新的要求，因此，这套系列教材还需在使用中不断修改和完善。“嚶其鸣矣，求其友声。”我们期望广大读者不吝赐教。

江泽民同志指出：“创新是一个民族进步的灵魂，是国家兴旺发达的不竭动力。”高等教育的改革，也需要不断地创新，不断地前进。一声号角撼大地，千红万紫进军来。21世纪教育的春天，已经来临。

全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

中国科学院院士

华中科技大学教授

杨叔子

2001年3月10日

前 言

随着改革开放的深入,我国国民经济得到了飞速发展,层出不穷的电子新产品正广泛地应用于工业、农业、国防、教育、科研、商业、财金、邮电、医疗卫生、家庭生活等方面,形成了一种各行各业均离不开电子产品的局面。然而另一方面人们又担心电子产品是否具备良好的技术性能,是否可靠、耐用,是否会轻易发生故障或损坏。

从微观上讲,质量是企业的命根子;从宏观上讲,质量关系着综合国力的强盛。可以推想,一个国家的导弹、卫星系统,生产中的自控系统,老百姓的电视机、洗衣机……如果故障不断,那将会是一种什么情景。为了使职业技术学校培养出的人才具备产品可靠性方面的知识,适应国家四个现代化的需要,我们编写了这本《电子产品的可靠性与安全性》。

产品的可靠性主要是指产品可靠而无故障地工作或被使用的性能,从学术上讲就是其具有较长的“使用寿命”(当然,具体的定义尚不仅如此)。产品的安全性是指产品在使用过程中不危及人身安全、不危及环境及周围设施的安全的性能。

产品的可靠性与产品的失效是矛盾的两个方面,失效多则可靠性低,失效少则可靠性高。粗看起来,产品的失效似乎没有什么规律,例如组成整机的元器件,有的在这个时候发生失效,有的在那个时候发生失效,而有的则长期不发生失效。但是,恩格斯说过:“所谓偶然的東西,是一种有必然性的隐藏在里面的形式。”又说:“在表面上是偶然性起作用的地方,这种偶然性始终是受内部隐藏着的规律支配的,而问题只是在于发现这些规律。”我们通过实践是可以逐步认识这些隐藏着的客观规律的。掌握了这些客观规律,我们就可以能动地运用这些规律来改造客观事物,采取措施降低产品失效率,提高产品可靠性,确保人身安全和产品设备安全,使电子产品很好地为人类服务。

本书着重介绍了有关可靠性的基本知识,包括可靠性的意义、内容、范围,可靠性的数量特征,产品的失效规律以及可靠性的试验方法,可靠性筛选,抽样理论及方法,也介绍了一些有关产品安全性方面的基本知识。

为了使本书便于理解,通俗易懂,我们在编写中着重定性介绍和论述,尽量避免繁琐的公式推导、演算,直接引用其结论,并以适当的实例加以说明。

参加本书编写的有武汉职业技术学院的高级讲师唐宪明、高级讲师罗绮心,第一、二、三、四、五、九章由唐宪明编写,第六、七、八章由罗绮心编写。

在整个编写过程中,我们按照教学大纲要求和高职培养目标的要求,注意结合编者以前在电子工业企业多年工作中的实际经验以及广泛收集的一些有关实例加以说明和论证。由于时间紧迫,水平有限,书中难免存在错误和不足之处,敬请读者、专家提出宝贵意见,以便修订时改正。

编 者

于武汉职业技术学院

2001年9月

目 录

第一章 可靠性概论	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 可靠性的基本概念	(1)
第三节 提高产品可靠性水平的意义	(6)
第四节 提高可靠性水平的基本途径	(7)
第五节 可靠性试验	(9)
第六节 可靠性分析的主次图和因果图	(11)
第七节 概率统计在可靠性工作中的应用	(15)
复习题	(16)
第二章 可靠性的主要数量特征	(17)
第一节 概述	(17)
第二节 失效概率与可靠度	(18)
第三节 失效分布函数	(21)
第四节 失效率函数	(25)
第五节 可靠性寿命特征	(27)
第六节 彩色电视机的可靠性估计	(29)
复习题	(31)
第三章 常见的失效分布类型及其概率纸的用法	(33)
第一节 威布尔分布	(33)
第二节 威布尔概率纸	(35)
第三节 正态分布	(36)
复习题	(38)
第四章 指数分布的寿命试验	(39)
第一节 可靠性试验的目的和意义	(39)
第二节 指数分布寿命试验的意义	(40)
第三节 指数分布寿命试验的分类和试验设计	(41)
第四节 截尾寿命试验结果的分析	(44)
第五节 截尾寿命试验的区间估计	(47)
复习题	(48)
第五章 恒定应力加速寿命试验	(49)
第一节 概述	(49)

第二节	恒定应力加速寿命试验的基本想法	(49)
第三节	加速寿命试验应考虑的几个问题	(51)
第四节	图估计法	(53)
复习题		(57)
第六章	可靠性筛选	(58)
第一节	什么是可靠性筛选	(59)
第二节	几种可靠性筛选方法介绍	(59)
第三节	可靠性筛选项目和筛选应力的确定	(62)
第四节	可靠性筛选时间的确定	(65)
复习题		(67)
第七章	可靠性抽样检查	(69)
第一节	二项分布及其计算	(69)
第二节	抽样检查方案的 OC 函数	(75)
第三节	失效率抽样检查方案	(77)
第四节	寿命抽样检查方案	(78)
复习题		(80)
第八章	系统的可靠性	(81)
第一节	概述	(81)
第二节	系统的结构模型及其可靠度计算	(82)
第三节	系统可靠度的预测及分配	(84)
第四节	提高系统(产品)可靠度的途径和措施	(85)
复习题		(87)
第九章	安全性基本知识	(88)
第一节	概述	(88)
第二节	电击防护	(89)
第三节	有害射线防护	(92)
第四节	防火	(93)
第五节	爆炸防护	(95)
复习题		(96)

第一章 可靠性概论

第一节 概 述

改革开放以来,我国电子工业在原有的基础上飞速发展,集成电路、微电子技术正广泛运用于各类电子产品之中。微机产品、电子控制的各种各样的产品,科技含量高、档次高的产品愈来愈多地应用在军事工业、民用工业、轻工业、重工业、农业、科学、教育、商业、医疗卫生、家庭生活之中。随着其应用范围的扩大,产品本身的复杂程度和装配精密程度也不断提高,使用的环境条件也愈来愈严酷。特别是为尖端技术、上天的产品配套的电子产品,不仅要求有良好、精密的技术性能,而且要求能长时间、可靠、稳定地工作。这就是所谓的可靠性。

实践证明,提高电子产品的可靠性是电子工业发展的首要的技术问题——也可以说是首要的质量问题。不难设想,动不动就出故障的电子产品充斥世界会是怎样可怕的情景。

毛泽东同志早在建国初期就要求我国的生产者要做到:“一切产品,不但求数量多,而且求质量好,耐穿耐用。”这才是对人民负责的表现。

电子产品可靠性工作的发展是与电子工业的发展密切联系在一起的。早在第一个五年计划期间,我国就建立了可靠性和环境试验研究基地,调查和收集电子产品的使用情况、失效情况,并开展了部分电子产品的可靠性和环境适应性试验。同时还在各专业研究所和某些工厂建立了有关试验室,在研究、设计、试制新产品的过程中,注意进行环境适应性和长期寿命试验。某些单位,还对电子设备的可靠性预测进行了尝试。

在第二、第三个五年计划期间,我们冲破了前苏联对我国的封锁,独立自主,自力更生,不但对电子产品开展了大量的可靠性和环境性试验工作,而且对失效产品进行了理化分析,研究了其失效机理,针对其原因,对原材料、设计、制造工艺、技术管理等多方面采取了相应措施,提高了电子产品的可靠性水平。后来我国原子弹、氢弹的爆炸成功,人造地球卫星的上天,中远程导弹的发射成功,都说明了与之配套的电子产品的可靠性达到了相当高的水准。

改革开放以来,我国加强了与外界的联系,在电子工业方面,例如在收录机、电视机、电冰箱、洗衣机、半导体元器件、集成电路乃至微型电子计算机等方面进行了整机、散件、生产线的大量引进,以改变我国在此方面产品的落后状况。尤其在产品的性能、可靠性方面,我们学习到大量的有益东西。到20世纪90年代末,我国电子工业已跃入世界先进行列,为进一步发展打下了良好的基础。

第二节 可靠性的基本概念

一、可靠性的定义

所谓可靠性,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”。

产品的可靠性与“规定条件”是分不开的。这里所说的规定条件是指产品使用时的应力条件、环境条件和贮存时的贮存条件等。

“规定条件”不同,电子产品的可靠性也不同。例如,同一半导体器件使用时,在不同功率输出状态下,其可靠性是不同的。一般的规律是小于额定功率时可靠性较高,等于额定功率时可靠性次之,大于额定功率时可靠性较差。

产品的可靠性与“规定时间”——即规定的工作时间密切相关。一般来说,元器件经过筛选、整机经过老练后,产品在某一时间内(较长的时间)可靠性水平较高。此后,随着使用时间的延长,可靠性水平逐渐降低;时间愈长,可靠性水平愈低。

产品的可靠性与“规定功能”有密切关系。一个产品往往具备若干项功能,或者说具有若干项技术指标。产品在工作时,要完成的是功能的全部而不是其中的一部分,或者说是要达到所有的技术指标而不是达到某一部分技术指标。

产品在实际使用中发生的失效往往与各种偶然因素有关。要判断某种产品会在什么时候发生故障是无法做到的,但大量的偶然事件——我们称其为随机事件中——隐藏着一定的规律性,偶然事件中包含着必然性。虽然我们不能精确地知道发生故障(或失效)的时间,但我们可以估计在某段时间(从产品开始使用算起)产品完成规定功能的能力大小,也即所谓产品可靠度的大小。

所谓可靠度,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”。

例如,产品工作 1 000 h 的可靠度为 98%,这就意味着如果多次抽取 100 个同样的产品在规定的条件下工作 1 000 h,平均约有 98 个能完成规定的功能。

二、产品的质量与可靠性的关系

产品的可靠性,实际上是产品质量的一个组成部分。由于可靠性问题在产品质量问题中占有十分重要的位置,格外显得突出,因此,很多国家,尤其是经济发达、科技先进国家专门将其作为一重大问题加以研究。

产品的质量与可靠性的关系可用图 1-1 表示。

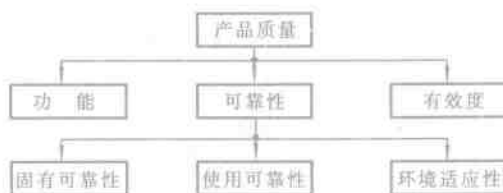


图 1-1 产品质量与可靠性的关系

产品的质量由产品的功能、产品可靠性、产品有效度组成。

产品的功能是指产品所具有的技术指标。例如计算机,它的指标有周期、字长、容量、指令数、运行速度等;又如移动电台,它的指标有频率范围、通讯距离、调制制度、信道、工种等。这些是产品的基本指标。没有或达不到这些指标,可靠性也就毫无意义。但是,只有这些指标,没有可靠性指标,产品性能是不完全的,也就谈不上产品的使用价值。

例如,一部炮瞄雷达,如果其可靠性不高,经常出故障,当敌机临空时,它不但不能指挥、控

制高炮射击,反而暴露了自己的阵地,受到敌人的打击。由此可见,产品的功能能否发挥,很大程度上取决于产品的可靠程度。只有产品的可靠性水平高,才能使产品的功能得到充分发挥。通常,把产品的失效率、可靠度、平均寿命、贮存寿命作为产品的可靠性指标。

产品的有效度,是指可以修复的产品在某时刻维持其功能的概率。对于可修复的产品,其有效度的高低还与出现故障后修复时间的长短有关。产品的平均修复时间愈短,则有效度就愈高。我们把产品可能工作时间与总时间(可能工作时间加上不能工作时间)之比作为衡量产品质量的又一重要指标,叫做“固有有效度”,其定义如下:

$$\text{固有有效度} = \frac{\text{可能工作时间}}{(\text{可能工作时间}) + (\text{不能工作时间})}$$

从图 1-1 还可以看出,产品的可靠性由固有可靠性、使用可靠性和环境适应性三方面组成。

所谓固有可靠性,是指产品在设计、制造时内在的可靠性。影响产品固有可靠性的因素主要有电路程式的选择和应用、元器件的选择和应用、元器件的工作参数、机械结构、制造工艺等。

所谓使用可靠性,是指使用、维修人员对产品可靠性的影响,具体是指使用、维护的合理性、科学性。这些人为的因素往往会影响产品的正常工作或可靠性。

所谓环境适应性,是指产品工作时的外界条件对产品可靠性的影响。这些条件有环境温度、相对湿度、大气压力、振动、冲击、辐射、化学气体烟雾、贮存、运输等。

以上各因素均为可靠性研究的对象。也就是说,产品的可靠性不仅涉及设计、制造、使用直至寿命终止的全过程,还涉及构成电子产品各种原材料的质量问题。

三、失效规律

产品失效规律的分析研究是可靠性研究的主要内容之一。对产品的失效规律的分类通常有两种方法:一是按产品的寿命特征分类,一是按产品的失效形式分类。

1. 按寿命特征分类的产品失效规律

大量使用、试验结果表明,电子产品失效率 $\lambda(t)$ 与时间 t 的关系曲线是两端高、中间低的所谓浴盆曲线。典型的失效曲线如图 1-2 所示。

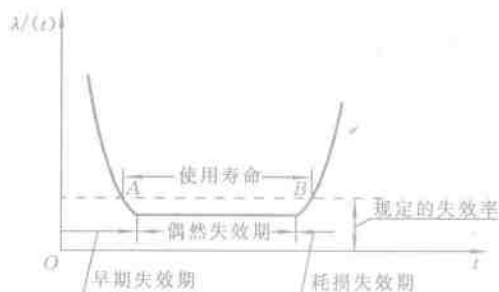


图 1-2 产品典型失效曲线

从曲线上可以看出,产品的失效率随着时间的发展大致可划分为三个阶段,即早期失效期、偶然失效期和耗损失效期。

(1) 早期失效期

早期失效期是指产品制成后投入工作的较早时期。其特点是失效率高,且产品失效率随时间的增加而迅速下降。这一阶段是产品发生早期失效的阶段,也就是说,由于设计和制造工艺上的缺陷等因素而导致产品失效。尤其是材料缺陷、工艺不良、操作粗心、检验不严等,最容易造成产品的早期失效。例如:电容器的介质中若混入导电粒子,工作时则容易被击穿;薄膜电阻器若刻槽不均匀,在负荷较重时将会烧毁;晶体管、集成电路的引出脚若压焊不牢,将会发生开路。

减少早期失效的有效办法是:加强原材料的理化检验,严格工艺规程,加强产品的质量管埋,对元器件实行筛选措施。

(2) 耗损失效期

耗损失效期出现在产品使用的后期,是产品主要的失效时期。其特点是失效率随时间的增加而上升。耗损失效的原因主要是产品的老化、疲劳和损耗。例如:瓷介电容器介质的不可逆变化引起介电常数降低、损耗角正切值增加和绝缘电阻下降;显像管等一类电真空器件在长期使用后,阴极材料的损耗致使发射电子能力下降。

改善耗损失效的方法是不断提高元器件的工作寿命,对寿命短的元器件,在整机设计时就要制定一套预防性检修和更新措施,在它们到达耗损失效期前就及时予以更换。

(3) 偶然失效期

偶然失效期出现在早期失效之后,此期间产品的失效纯属偶然事件。其特点是失效率低,工作较稳定。失效率近似为常数,与时间变化关系不大。失效原因均属偶然因素,比如某一时刻元器件的失效只是因为所积累的应力超过本身所能承受的强度。产品的偶然失效期是产品可靠的工作时期,研究这一时期的失效因素,有重要的意义。

以上介绍的三个时期是电子产品的典型情况,也就是说,在一般情况下,电子元器件、系统、子系统等产品的失效率与时间的关系符合图 1-2 曲线形式。但是,并不是所有产品都有三个失效期,有的产品只有其中的一个或两个失效期。某些质量低劣的产品其偶然失效期很短,甚至在早期失效之后,紧接着就进入了耗损失效期。对于这样的产品,进行任何可靠性筛选也是不行的。

然而,半导体元器件具有一个特点,即如果只考虑元器件在工作时的温度因素而不考虑其密封性及外引线的腐蚀等因素,则它的理论寿命是相当长的(可以近似认为无穷大)。例如,一些晶体三极管在高温老化及功率老化试验中失效很少,没有发现耗损失效的现象。

为了提高产品的可靠性水平,掌握产品的失效规律非常重要;也只有对产品的失效规律有了全面的了解,才能采取有效的措施来提高产品的可靠性水平。例如,没有早期失效的产品就不能用筛选的方法,否则只会引起平均寿命的降低;而没有耗损失效期的产品,则可以加强其筛选条件,使产品的失效率大大降低。

2. 按失效形式区分的产品失效

按失效形式,产品的失效可粗略分为三类不同形式:由于产品质量不合格造成的失效、人为因素造成的失效和由于耗损造成的失效。

质量不合格造成的失效有两方面的原因:一是产品的设计不能适应实际使用的需要,可能是元器件的选择使用不当,或原材料的选择、使用不当,或电路、工艺选择不当造成的;二是环境应力超过产品负荷能力,可能是产品不适应环境或设计者对使用条件估计错误而造成的。

人为因素造成的失效有三方面的原因:一是对产品没有进行可靠性设计,更未对产品进行可靠性工艺保证措施(即所谓的可靠性工艺设计);二是设计人员或制造人员采用了有缺陷的元器件、材料;三是产品在制造、维修或运输过程中受到了人为的损坏。

耗损失效是指产品由于老化、疲劳、损耗等原因造成的失效,其主要原因:一是某些元器件的使用时间超过耗损期前的寿命,二是某些元器件长时间受环境应力的影响。

这种按失效形式分类的优点在于能尽快找出失效原因,以便从根本上采取措施,提高产品的可靠性水平。实践证明,按照这种方式分析研究产品的可靠性是比较直观、科学的,因为它的目标建立在可靠性与产品材料物理性质的直接关系上。具体地说,是根据产品的物理、化学性质,力学结构以及各种外界因素直接算出产品的可靠性指标。虽然本书未对此部分内容加以论述,但它确实非常重要。

四、失效分析

随着电子元器件可靠性水平的提高,以寿命试验为基础的传统失效分析方法已不能完全适应发展的需要。由于微电子学的发展,一种短时间、高应力的加速试验方法及其相应的分析方法逐步形成。

对批量产品,以一定抽样程序,抽取一定数量的产品对其进行加速试验。对试验中的失效产品进行深入的物理分析,弄清其失效形式及失效原因,从而提出改进措施,以提高产品的可靠性水平。

失效分析往往采用较精密的仪器设备和分析手段进行物理、化学、金相、显微等分析,并加以深刻的失效机理研究,以尽可能彻底地解决问题。

采用失效机理分析的特点是效率高、成本低、摸清失效原因快,缺点是不能精确地估计产品的失效率。

失效形式分析过程如下:

1)收集失效数据。

2)失效形式鉴定 失效形式就是失效状态,如断线、短路、特性恶化等。根据形式来判断失效与产品的哪一部分有关,例如半导体管、半导体集成电路的开路现象,往往与内部的金丝或硅铝丝断开、金属膜开路或压点脱开等有关。

3)失效特征描述 根据失效部位的形状、大小、位置、颜色及化学组成、物理性质,科学地表达和说明与上述失效形式有关的现象或效应。

4)失效机理假设 根据上述有关特征的描述,结合材料的性质、有关制造工艺理论和实践,提出可能导致该失效形式产生的内在原因或规律性。

5)证实 通过一些有关的单项实验证明上述失效机理的假设是否正确。为了使结论准确、可靠,此种实验必须进行多次且操作无误。

6)改进措施 根据上述失效机理的判断,提出消除产品失效因素的有关建议与办法。

7)新的失效因素的探索 由于改进措施的实行,产品可靠性水平提高了,但又可能出现新的失效因素,这就需要进一步探索和解决。

各种产品的失效形式和失效机理不会完全相同的,即使同一种产品,由于原材料来源不同或制造工艺不同,失效形式也不会完全相同。因此,在失效分析中要注意具体情况具体分析。

失效机理的分析,通常有两种方法:一种是简单剖析法,一种是特殊仪器探测法。特殊仪器

探测法又称非破坏性检验法,如采用红外线扫描仪、红外显微镜、扫描电子显微镜、电子探针、X 光仪等进行检验。

第三节 提高产品可靠性水平的意义

一、电子工业的发展对可靠性提出了更高的要求

对产品可靠性的要求是随着电子产品的复杂程度的提高而逐步提高的,对产品可靠性的研究也就随着电子工业的发展而逐步向前发展。电子设备或系统的可靠性很大程度上取决于所用元器件的可靠性。电子设备中使用的元器件愈多,对元器件的可靠性要求就愈高。如果以 R 表示一台电子产品的可靠度,以 $R_1, R_2, \dots, R_n$ 表示用于该产品内诸元器件的可靠度,那么一个串联系统电子产品(即系统中任一元器件的失效都会导致系统设备失效)的可靠度 R 就等于各元器件可靠度的乘积,即

$$R = R_1 R_2 \cdots R_n$$

为简便起见,该电子产品的可靠度完全取决于组成它的元器件的可靠度,另假设各元器件的可靠度也是相同的,则图 1-3 表示了不同数量、不同可靠度的元器件在串联系统电子设备中对产品可靠度的影响。

图 1-3 中每条曲线表示单个元器件的可靠度为不同值时,组成设备的元件数(即串联连接的元件数)不同时所对应的设备可靠度。

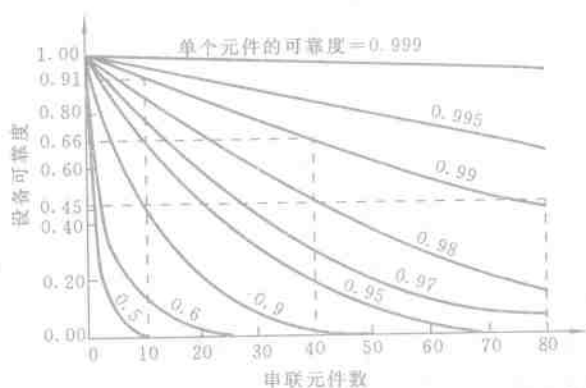


图 1-3 不同数量、不同可靠度的元器件对电子设备可靠度的影响

当单个元器件的可靠度为 0.99(从上往下数第三条曲线)时,此设备如果是由 10 个元器件组成的话,则其可靠度为 90.4%;如果是由 40 个元器件组成的话,则其可靠度为 66.9%;如果是由 80 个元器件组成的话,则其可靠度只有 44.8%。

假如一台 VCD 影碟机由 100 个元器件组成,当要求其平均无故障工作时间为 1 000 h 时,那么就需要失效率为 $10^{-5}/\text{h}$ 水平的元器件来组装。如果 VCD 用 10 000 个这样水平的元器件组装而成,那么它的平均无故障工作时间就只有 10 h 了。这样的 VCD 用起来就不那么放心了。为了使 10 000 个元器件组装成的 VCD 机的平均无故障工作时间保持 1 000 h,那么就要提高元器件的可靠度,使它的失效率达到 $10^{-7}/\text{h}$ 的水平。

由此可知,随着电子产品采用元器件的数量的增加,对元器件的可靠度要求就越高。在尖

端产品和大型电子系统中,使用的元器件往往达到几万、几十万乃至几百万个,可想而知,可靠性的问题是多么的重要。

二、可靠性与经济的关系

从产品成本的角度来看,要提高可靠性水平,必然会增加成本,因为做好这项工作牵涉到选取品质优良的材料,采取先进的工艺、性能优良的设备,进行严格、周密的管理等。这就要求投入较多的资金和人力、物力。但从使用的角度来讲这是十分必要的。由于产品可靠性水平的提高,但使用费用和维修费用大大减少了,设备的更新时间大大延长了,根本不必担心设备运行不好而产生故障带来生产、经济损失等等。尤其在军事上,产品可靠与否显得更为重要,因为它直接影响着战争的胜负。

产品可靠性与费用的关系如图 1-4 所示。由图可知,可靠性水平的提高,导致生产费用的提高,但使用费用、维修费用随之降低。反之,如果可靠性降低,非但导致使用 and 维修费用大大增加,甚至会出现产品报废的结果,在经济上的损失就更大。据估计,一台由十万块半导体集成电路组装的大型电子计算机,在整机装配厂更换一块坏了的集成电路板,花的费用约等于一块集成电路板价格的 6 000 倍(因有时需将机器彻底检查之后才能找出这块板的缘故)。如果在使用现场更换则更困难,所需的费用要增加约 50 000 倍。

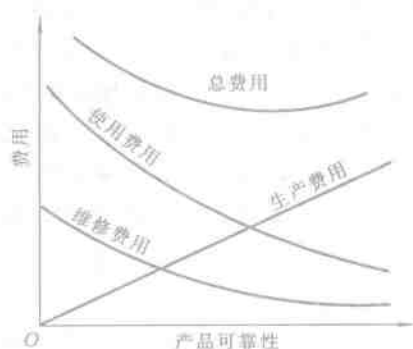


图 1-4 可靠性与费用的关系曲线

三、提高产品可靠性水平的意义

从上面的分析中我们清楚地看到,提高产品的可靠性水平,在政治上、军事上、经济上都有重要的意义,对发展我国尖端技术、军事工业,推广应用电子技术有着重要的作用,对实现国民经济各领域、各行业以及家庭生活的电气化、自动化、现代化有着不可估量的作用。

提高产品的可靠性水平,就能从整体上降低成本,真正做到节约能源、节约材料、节约资源、节约人力、节约资金,使我们的国家早日实现现代化。

第四节 提高可靠性水平的基本途径

总的来讲,提高产品可靠性水平要从两大方面入手。一是从人的方面入手,使产品的设计者、制造者在思想上树立质量第一的思想,要深刻认识质量是企业的生命。大量高质量产品的