

内 容 提 要

本书为高等院校电子材料与元器件专业本科生选修课教材，可供40学时教学使用。主要内容有：可靠性概述及其主要数量特征；可靠性试验；寿命试验、加速寿命试验及数据处理；抽样检查；电子元器件的失效分析；可靠性质量管理等。

本书还可供有关专业师生和从事可靠性工作的技术人员参考。

电子元器件的可靠性

李 哲 祖光裕 编著
张之圣 王文生

天津大学出版社出版

(天津大学校)

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

开本：787×1092毫米1/16 印张：9 字数：224千字

1991年10月第一版 1991年10月第一次印刷

印数：1—4100

ISBN 7-5618-0258-7

TN·4

定价：3.95元

前 言

电子元器件的可靠性是电子产品的一项主要质量指标，它直接影响整机或系统的可靠性。电子材料及元器件专业的学生必须具有这方面的知识，以适应电子工业发展的需要。

本书根据1986年成都教材会议确定的编写要点编写，为选修课教材，学时数40左右。根据内容可做详讲、略讲、自学讨论等教学安排。通过本教材的学习可使学生了解或掌握电子元器件可靠性的主要数量特征、主要失效规律、典型的数学模型、失效分析方法、可靠性试验与数据处理方法，以及如何使用现代分析手段对电子材料与元器件进行失效分析和提高可靠性的途径等。

西安交通大学李能贵副教授审阅了本书，并对书稿提出了宝贵意见，对此我们表示衷心感谢。

李哲编写第三章并担任主编，祖光裕编写第一、二、七章，张之圣编写第四、五章，王文生编写第六章。由于我们水平所限，本书难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

一九九〇年五月

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 可靠性概述及其主要数量特征	(7)
§ 2.1 可靠性数据的收集.....	(7)
§ 2.2 可靠性数据的统计特性.....	(11)
§ 2.3 可靠性与可靠度的概念.....	(12)
§ 2.4 产品失效的特征量.....	(14)
§ 2.5 产品的寿命特性.....	(19)
§ 2.6 电子元器件的失效分布.....	(23)
习题.....	(32)
第三章 可靠性试验	(34)
§ 3.1 可靠性试验的目的和分类.....	(34)
§ 3.2 环境试验.....	(35)
§ 3.3 可靠性筛选.....	(38)
§ 3.4 例行试验与鉴定验收试验.....	(44)
习题.....	(45)
第四章 寿命试验、加速寿命试验及其数据处理	(46)
§ 4.1 寿命试验及其分类.....	(46)
§ 4.2 利用威布尔概率纸进行数据处理.....	(47)
§ 4.3 利用威布尔概率纸估计寿命特征值.....	(53)
§ 4.4 最佳线性无偏估计与简单线性无偏估计.....	(57)
§ 4.5 加速寿命试验.....	(66)
习题.....	(70)
第五章 抽样检查	(72)
§ 5.1 概述.....	(72)
§ 5.2 计数抽样检查的理论依据.....	(73)
§ 5.3 抽检特性曲线及特性函数.....	(75)
§ 5.4 计数抽样检查方案.....	(77)
§ 5.5 失效率抽样检查及其试验方法.....	(82)
习题.....	(88)
第六章 电子元器件的失效分析	(89)
§ 6.1 失效分析的目的和程序.....	(89)
§ 6.2 失效模式和失效机理.....	(92)
§ 6.3 失效物理模型.....	(100)

§ 6.4 电子元器件失效分析实例.....	(105)
习题.....	(112)
第七章 可靠性质量管理.....	(113)
§ 7.1 概述.....	(113)
§ 7.2 原材料及环境的质量控制.....	(117)
§ 7.3 生产过程中的质量控制.....	(119)
参考书目.....	(136)

贵

§ 6.4 电子元器件失效分析实例.....	(105)
习题.....	(112)
第七章 可靠性质量管理.....	(113)
§ 7.1 概述.....	(113)
§ 7.2 原材料及环境的质量控制.....	(117)
§ 7.3 生产过程中的质量控制.....	(119)
参考书目.....	(136)

贵

第一章 绪论

随着科学技术的迅速发展，可靠性理论和技术已发展成一门独立的新兴学科，在工程实践中被广泛地重视与应用。可靠性工程在提高产品质量、增加经济效益、占领世界市场等方面，日益显示其重要作用。许多企事业单位已把可靠性工作纳入计划管理和技术管理中去。有的部门还提出以可靠性为重点全面质量管理的论点，经过实践检验，收到了显著的经济效益。可靠性理论与技术是一门边缘性综合性学科，可靠性工作涉及各个行业、各类产品。本书讨论研究的是电子元器件的可靠性问题。

1. 可靠性问题的提出

第二次世界大战中，美国在远东的电子设备有许多在运输和保管中即已损坏，约有半数以上不能使用，或者在使用中易出故障。系统地研究可靠性问题，可以认为是从此开始的。1943至1950年间，美国对设备中失效频数最高、被视为故障“祸根”的电子管，倾注了很大力量，寻求改善方法，制出了“高可靠性电子管”。然而这类电子管设备仍不可靠，于是人们认识到，要提高设备可靠性，仅改善其中部分元件或部件是不行的，为了确保设备或系统的可靠性，除了可靠的元器件外，必须从研制初期就进行可靠性设计工作。在这一认识的基础之上，美国进行了许多研究工作，其中最有权威性的研究机构是美国国防部“电子设备可靠性顾问团”(AGREE)，该机构于1957年发表了研究报告，该报告叙述设备(系统)的可靠度与构成该系统元部件可靠度之间的关系；系统可靠度时间量度的测量方法和保证方法等。这些研究成果具体反映在美国军用标准中。

可靠性问题是在社会实践中产生和发展的，在无线电工业发展的早期，设备较为简单，使用环境也不太恶劣，因此可靠性问题就不那么严重。随着科学技术的发展，电子设备更加复杂，使用环境更加恶劣，而对电子设备性能的要求越来越高。这些高要求和产品质量低劣的矛盾就显得越来越突出。

为了使系统可靠，简单的方法是设计较大的安全系数。实际上，由于近年来对系统、硬件性能的要求更高，更复杂，把安全系数设计得超出必要的限度是不允许的，必须从经济和技术要求出发作出合理的设计。以电子设备为例，由二十多年前的收音机到现在的立体声设备，由黑白电视机到彩色电视机，其使用的元件数量由 10^2 增至 10^3 数量级；而汽车、喷气式飞机、宇宙飞船、电子计算机等使用的元件数，分别跃升到 10^4 至 10^6 数量级；在环境条件方面，常要求电子产品在宇宙空间、火箭飞行等高温、低温、高真空等极端条件下使用；对电子产品寿命的要求常是五年、十年或更长时间。由于系统的故障数随元件数量、应力和使用时间而增加，给可靠性的提高带来了困难。因此，简单地提高安全系数是不行的，必须根据可靠性工程的理论和方法做科学处理。

为了解决这个矛盾，许多国家从五十年代开始，先后开展了电子设备和元器件可靠性问题的全面研究。如前所述，美国1952年成立了电子设备可靠性顾问团，并于1957年写出了《电子设备可靠性报告》，该报告比较完整地阐述了可靠性的理论与研究方法。其后，其它

一些国家如苏联、加拿大、英国、日本等也成立了相应的机构，出版了有关杂志。1965年，国标电工技术委员会还设立了可靠性技术委员会，协调各国间的可靠性工作。

我国对可靠性问题的研究和实施，是自第一个五年计划开始的，现在发行的杂志有《可靠性与环境试验》、《国外电子产品可靠性与环境试验》等，有关的专门著作也出版了许多。

2. 可靠性工作的地位和作用

电子技术水准是衡量一个国家现代化程度的重要标志。例如，热轧带钢轧速原来是每分钟20米，采用电子计算机控制和激光检测后，轧速提高到每分钟1200米，效率大大提高。但是如果计算机控制失灵，几分钟之内就会造成上万吨钢材浪费。可见，电子设备可靠性水平不高，会造成经济上的巨大损失。

电子元器件的可靠性直接影响到亿万人民的日常生活。1978年我国国产电视机的平均无故障工作时间只有300至500小时，平均年返修率在95%以上，给国家和人民造成巨大的经济损失。经过有关部门努力，到1988年，国产电视机的平均无故障工作时间已达20000小时以上，有些产品已进入国标市场。创造了良好的经济效益和社会效益。

提高电子产品可靠性虽需要大量人力、物力和时间，但是提高了可靠性将大大减少设备的日常维护费用，从总体上看是合算的。例如，美国在五十年代对一些设备维修费用的总额，五年内可达该设备价值的十倍以上；再如，如果要求空间同步卫星的平均寿命为13700小时，那么平均寿命只有6000小时的同种功能的卫星就需要在空间保持五个同时工作，而平均寿命已达13700小时的卫星只发射一个就够了；某厂为改善某元器件的可靠性，花费了一定的代价，优良品率由原来的30%提高到65%，使成本由原来的19元下降到10元，收到了良好的

经济效益。

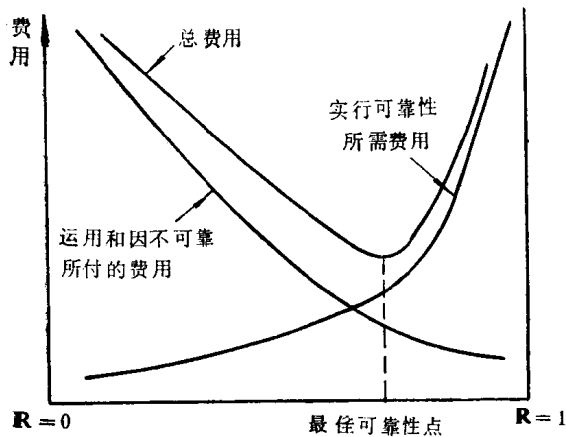


图 1-1 可靠性与费用的关系曲线

一般地说，对产品的可靠性要求越高，其投资费用就越大，而维修费用就会越低。其间的关系可以用图1-1的费用曲线来描述。在设计生产某一新产品时，需要综合考虑投资额和维修费用两方面的因素。一般产品应选取总费用的最低点来确定该产品的可靠性指标。但对某些具有重大意义的产品，可以不受投资额的限制，尽力提高其可靠性。如洲际导弹、航天飞机等产品。除了考虑维修费用之外，产品的

市场竞争能力、备份更换容量、时间及速度效益也是确定可靠性指标的重要因素。

3. 产品质量与可靠性的关系

什么样的产品才是高质量的产品？人们习惯用产品的技术性能作为衡量电子产品质量好坏的标志。例如人们认为，一台电视机，图象清晰、音色优美就是高质量的。但这种评价不全面。产品的技术性能指标只是反映产品质量的一个方面，不能反映其全貌。只有技术性能优良，又充分可靠、经久耐用的产品才是高质量的产品。产品的技术性能与可靠性之间有着极为密切的关系；如果产品不可靠，它的技术性能再好也发挥不出来。当然，没有基本的技术性能，产品的可靠性也无从谈起。

通常我们说产品不可靠，可以是对该产品的单项指标而言，也可以是对许多指标综合而言。产品的可靠性指标是一个与许多因素有关的综合性质量指标，它与设计生产有关，也与使用的环境条件及负荷条件有关。产品的可靠性是时间的函数，随着时间的推移，产品的可靠性将越来越低。

产品的可靠性指标与产品的技术性能指标重要的区别点，是产品的技术性能一般可以通过仪器测量出来，能够用直接测得的参数来表示，诸如稳定性、容差、灵敏度、选择性、不失真功率、图象清晰度、保真度等指标。但是产品的可靠性不能直接用仪器来测量，必须在大量调查研究的基础上做特殊的可靠性试验，才能对产品的可靠度、失效率、有效度及其寿命特征做出统计估计。

综上所述，可靠性指标是衡量产品质量的重要指标，就象产品的基本技术性能指标一样。二者既密切联系，又有许多不同之处。

4. 可靠性工作的内容和动态

电子工业可靠性工作的内容相当广泛，大致可分为可靠性理论基础、可靠性应用技术、可靠性的组织管理、可靠性教育与交流四个方面。可靠性理论基础包括可靠性理论、可靠性数学、可靠性设计技术、预测技术、环境技术、数据处理技术、基础实验等。可靠性应用技术包括对使用要求的调查，现场数据的收集与分析，失效分析，零件、机器、系统的可靠性设计与预测，软件的可靠性，可靠性评价与验证，包装、运输、保管、使用的可靠性规范，可靠性试验、可靠性标准等。

可靠性管理在可靠性工程中起着决定性作用。这是由于可靠性工作是一项综合性的技术工作，它贯穿于从计划、研制、设计、生产到使用的各个阶段，又涉及到原材料、元器件、设备以及系统工程等各个方面，因此需要各部门之间的共同势力和密切配合。那么由谁来组织和协调各个部门呢？由谁来制定可靠性计划并监督实施呢？又怎样审查可靠性呢？这都需要有科学的组织。

造成产品不可靠的原因很多，既有客观因素，也有主观原因；既与工人、技术人员的技术水平有关，也与领导干部的认识水平及科学管理水平有关。为了提高产品的可靠性，有必要使有关人员都重视可靠性工作，并且有可靠性方面的理论和技术。这就要求进行普遍的技术教育与交流，包括编制适应各种对象的教材、举办各类训练班、召开各类专业学术会议、出版刊物及国内外考察等。

表1-1列出了可靠性工作的基本内容。

可靠性学科各分支的发展情况，各分支文献累积数，如图1-2(以美国文献为主)所示。

由图1-2可以看出，可靠性分析、管理、试验和评价、设计等分支比理论和数据收集分支发表的文献多，其中分析分支发展最快。因为通过分析可以明了设备产生故障的原因，找出产品的薄弱环节，为有针对性地改进产品、提高产品的固有可靠性提供依据。

理论分支的发展始于五十年代后期，在分析、设计等分支的发展之后。因为只有通过设计和失效分析，对设备失效的基本机理有了较深的认识，才有可能找出其失效规律，进而建立起相应的理论。

由图1-2还可看到，各分支发表的文献数在每个时期所占的百分比不尽相同，我们将其变化情况归纳为图1-3。

由图1-3中可以看出，1960年研究的侧重点在管理和试验与评价方面，两者的文献累积

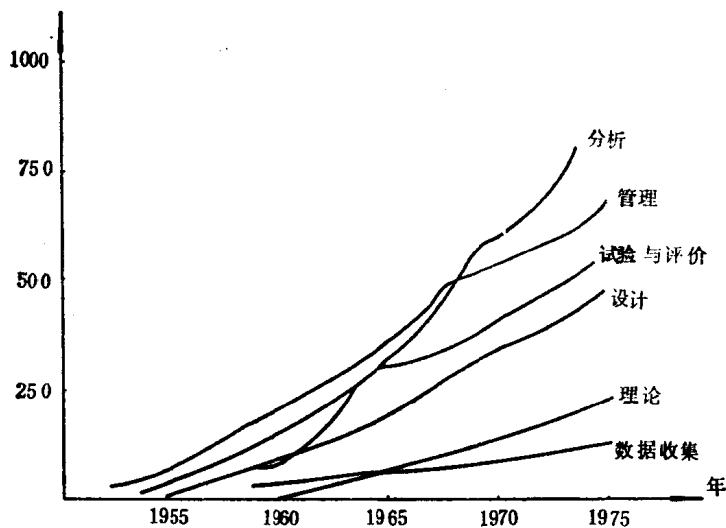


图 1-2 可靠性学科各分支发表文献累积数

表 1-1 电子产品可靠性工作的基本内容

基础		技术					管理			技术教育与技术交流
技术理论基础	基本设备条件	元器件可靠性	整机可靠性	应用可靠性	可靠性评价	可靠性标准	国家级职能管理	企业可靠性管理		
<ul style="list-style-type: none"> 可靠性理论 可靠性数学 可靠性物理 环境技术 基础实验 	<ul style="list-style-type: none"> 环境试验设备 可靠性试验设备 分析测量设备 辅助设备 试验保证技术 	<ul style="list-style-type: none"> 用户要求调查 提出原材料质量要求 失效分析 新技术应用 可靠性设计 质量与可靠性控制 现场数据收集与反馈 	<ul style="list-style-type: none"> 用户要求调查 可靠性预计与分配 可靠性与维护性设计 元器件合理选择与应用 可靠性评价 现场数据收集与反馈 	<ul style="list-style-type: none"> 使用条件调查与保证 使用者训练 维护技术与合理备份 现场数据分析与反馈 	<ul style="list-style-type: none"> 环境界限试验 失效模式监视试验 寿命与失效率试验 可靠性筛选 可靠性认证 例行试验 现场数据分析评价 	<ul style="list-style-type: none"> 基础标准 试验方法标准 认证标准 管理标准 设计标准 产品标准 	<ul style="list-style-type: none"> 制定规划政策 工程研究 可靠性认证制度 可靠性数据中心 可靠性标准 宣传教育 国际协作 技术协会及会议 	<ul style="list-style-type: none"> 设置可靠性管理体系 制定企业可靠性管理纲要 制定产品可靠性管理规范 制定质量反馈制度 监督与审定成果 教育 	<ul style="list-style-type: none"> 编制各种可靠性教材 举办各种训练班 国内外考察 国内外培训 专业技术会议 情报交流 出版物 	

数占61%，而分析与设计只占30%；到1965年开始有所变化，前者降到52%，后者提高到41%；以后仍保持这种变化的趋势一直到现在。这是因为，在最初阶段，可靠性的某些概念与产品的质量控制在密切相联系，而质量控制的侧重点在于管理；再者，初期还偏重对产品作可靠性试验与评价，由此直接了解其可靠性水平，找出薄弱环节，进而采取有针对性的措施

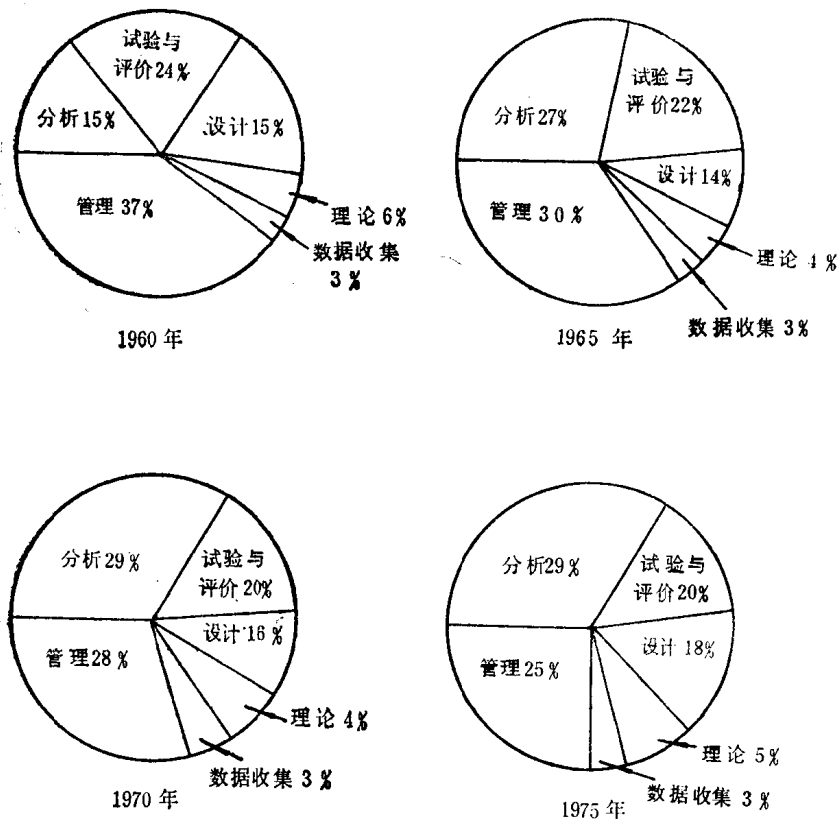


图 1-3 各分支文献数在不同时期所占比重

来提高其可靠度；随后，通过试验与现场调查，积累了大量的可靠性数据，使系统和元器件的可靠性分析与设计得到了较快的发展。还应指出，随着现代分析仪器的涌现和投入使用，可靠性分析工作得到十分迅速的发展，这也为可靠性设计工作提供了更坚实的基础。

我国从五十年代开始建立了环境适应性试验基地，随后又在海南岛、上海、庐山、西北等地区设立了试验站，并开始人工模拟试验工作。六十年代初提出了可靠性问题，并开展了元器件的寿命试验工作，分别对通讯机、雷达、电子计算机等整机进行了初步探讨，举办过一些可靠性基础知识培训班，个别厂、所成立了可靠性试验小组。

七十年代以后，人造卫星、导弹核武器、地海缆工程都对元器件提出高可靠长寿命的迫切要求，使我国的高可靠工程迅速发展。1973年召开会议制定了地缆工程的可靠性计划，对元器件提出了可靠性指标。1974年12月专门讨论了提高尖端产品使用的半导体器件的可靠性问题。1976年召开会议对尖端产品所需元器件作出高可靠要求的规划定点工作。1978年12月，在认真总结几年来开展电子元器件可靠性工作经验的基础上，提出电子元器件可靠性“七专”质量控制与反馈的管理办法和技术协议，要求选择富有经验的专门人员，采用高精度的专门设备，选取专用的原材料，按照规定的技术协议进行专批生产，并对产品按规定标准进行专门检验和筛选，并建立专用的工艺流程记录卡，即专人、专机、专料、专批、专检、专筛、专卡等“七专”。这一措施对推动可靠性工作起了很好的作用。

近几年来，北京市、天津市、中南、东北、华北及西北等地区都举办了各种类型的可靠性培训班。1979年中国电子学会成立了“可靠性与质量管理学会”。1980年成立了“电子产

品可靠性数据交换网”。1981年4月成立了“中国电子元器件质量认证委员会”。1982年国家标准总局召开会议并成立了“全国电工、电子可靠性与维修性标准化技术委员会”。可靠性工作已在各行各业迅速展开。目前已制定了一系列的可靠性国家标准和部级标准，建立了上百条“七专”质量控制生产线。与此同时，可靠性工作的国标交流也增多了。美国、法国及日本等国的质量认证和可靠性研究机构都先后到我国访问交流，我国也派代表团参加各种国标专业会议。

由于开展了可靠性工作，我国电子产品的可靠性水平有了相当大的提高，但与国标先进水平相比还有差距。我国电子元器件的可靠性水平一般在五级到六级之间，同国标水平相比大约差2~3个数量级。因此今后要继续努力开展可靠性的理论研究与应用研究工作，以适应我国电子工业迅速发展的需要。

习 题

1. 系统研究可靠性问题的意义是什么？
2. 产品质量与可靠性的关系是什么？
3. 我国开展可靠性工作的状况怎样？取得哪些成绩，存在哪些差距？

第二章 可靠性概述及其主要数量特征

可靠性是产品寿命指标的总称，而产品寿命是随机现象，因此确定一种产品的可靠性指标最终归结为统计推断问题。这类统计问题在经典数理统计学中很少研究。近几十年来人们开始研究这类从生产实际中提出来的统计问题，并在实际中收到了良好的效果，总结出一些具有特色的基本概念和基本方法。

§ 2.1 可靠性数据的收集

1. 可靠性数据的重要性

电子产品的可靠性数据是开展可靠性工作的基础之一，是客观评价产品质量及其可靠性的主要尺度。通常用平均无故障工作时间(MTBF)来表征电子设备的可靠性水平，用失效率(λ)来表征电子元器件的可靠性等级。只有经过长时间收集大量数据之后，才能对产品的可靠性指标做出正确的评价。电子设备与系统的可靠性设计与预计，均以元器件的可靠性数据为基础。各国都定期或不定期地公布各类可靠性数据。

2. 可靠性数据的收集

有两种收集数据的方法。一种是向现场工作人员分发报表填写，定期收回集中；另一种是培训一批专业人员，编制调查纲目，有计划有目的的深入现场，调查收集重要的可靠性数据，然后整理成统一的格式。

为了有效地收集可靠性数据，通常应有统一格式的报表。首先，数据报表要编制得合理，尽可能真实反映现场的实际情况；第二，报表栏目要全面，能记载各种信息；第三，报表要具方便性，便于分类查找，便于制成微缩胶片及计算机化管理。

根据国际电工委员会(IEC)362号出版物推荐，数据报表应包括以下内容：

- (1) 报告号和日期；
- (2) 使用者姓名和地址、产品位置；
- (3) 报告性质（如使用报告、失效报告、维修报告等）；
- (4) 产品的鉴定；
- (5) 调查的产品数；
- (6) 产品履历，包括：①制造或调机日期；②调整情况；③首次使用日期；④累积工作时间；⑤调整日期；⑥最近使用日期；⑦贮存运输条件；⑧最近维修的性质和条件；⑨良好状态下非工作累积时间；⑩非良好状态下非工作累积时间；⑪贮存累积时间。
- (7) 一般工作条件，包括：
 - ① 安装形式
 - (a) 机动性水平（固定、移动、携带）；
 - (b) 架设性质（地面、人背、车载、船载、机载、其它）。

②特殊环境

- (a)室内、露天、棚内、其它；
- (b)温度范围(平均值和极限值)；
- (c)湿度；
- (d)气压范围；
- (e)大气性质(空调、温度调节、净化、尘、沙、盐、腐蚀、其它)；
- (f)振动、冲击、碰撞。

③工作方式

- (a)连续；(b)间歇；(c)贮备；(d)一次使用；(e)贮存。

(8)产品失效说明，包括：

①症状和预兆；

②在工作中和周期性检查中检出的故障；

③产品失效模式；

④失效原因

(a)内在原因；(b)误用；(c)维护工作引起的；(d)外部原因；(e)二次失效；(f)未知；(g)不肯定。

(9)产品失效分析；

(10)处理措施；

(11)现场或维修工程师的估计；

(12)报告起草人姓名、签字。

我国可靠性数据交换网根据上述原则，制定并公布了一些数据报表。表2-1和表2-2是两个报表实例。

表2-1

电子元件现场使用可靠性报表

	提出机关		联系	工厂名称		
	所在地点		负责人	姓名	电话	
(1)元件卡片		等级	(4)产品的结构、规格、特性、电路形式等			
(2)元件名称						
(3)规范号						
型号						
(5)设备代号		(6)设备名称				
(7)设备安放场所(A)空调室(B)普通房间(C)车载(D)船载(E)机载(F)携带(G)地面室外(H)其它						
(8)使用条件(A)电路(1)模拟电路(2)数字电路(3)模拟数字电路(B)周围温度(机箱内元件的周围温度) ①-20~0°C ②0~20°C ③20~40°C ④40~60°C ⑤60°C以上						
(C)电应力负荷比①20%以下②20~50%③50%以上						
(D)元件工作方式①连续工作②间歇工作③其它						
(9)设备台数		(10)每台设备中元件数量		(11)设备累积工作时间 t (×10 ²)		

续表

提出机关		联系 负责人	工厂名称			
所在地点			姓名	电	话	
(12)元件小时数($\times 10^4$)		(13)继电器、开关等的平均开关次数 次/小时				
(14)失效数		(15)失效率 $\hat{\lambda}_{\text{非特}}(\times 10^{-2})$				
故障修理时的失效数						
预防维修时的失效数						
← 总计						
(16)故障修理时的失效模式统计		(17)预防维修时其维修计划是下列哪种:				
①短路		(A)个别更换元件或分组件				
②开路		(B)定期更换全部元件或分组件				
③损耗破坏		(C)其它(周期多少? 约 小时)				
④性能退化						
⑤其它						
⑥未知						
(18)特记事项				是否为上次试验的延长试验数据		
				是		否

收集到的数据要注意保存,注明收集地点、时间及收集人。现在,国际上有缩微图书馆用以保存数据,也出现了各种数据库系统。数据库是一种通用化的综合性数据集合,可以使众多的用户分享数据资源,已成为保存可靠性数据和实现数据交换的重要途径。

人们在长期的可靠性工作实践中积累了大量数据,并总结出一定的规律性,制成了可靠性数据手册。目前世界各国发表的具有代表性的元器件失效率数据有美国的埃勒斯表、英国的杜默表等。

3. 收集数据应注意的事项

可靠性工作需要大量试验。一般说来,试验的观测结果具有一定的随机性,因此要对试验结果进行科学处理,以便去伪存真。归纳起来,有以下三点需要注意。

(1)原始数据的真实性

要保证可靠性数据准确有效,首先要保证原始数据的真实性。原始数据一般是从观察现场或通过可靠性试验获得的。观测及试验的取样方式、试验方案、试验设计能否反映客观实际的真实面貌,对原始数据的真实性有直接影响。因此,从环境设计到统计设计都要认真考虑,试验设备及测试仪表也要保证精确可靠。

(2)原始数据的信息量

可靠性指标是一些统计性指标。只有在大量调查及大量数据的基础上,才能对产品的可

表 2-2

电子元器件可靠性数据卡

试验样品说明	元器件种类与规格		数 据 统 计 者			
			报告编号		日 期	
试验样品说明	生产厂及地址		其它合理数据			
	型 号		生产日期			
	有关的元器件说明书		生产形态(试产? 批产?)			
	筛 选		补充事项			
	样品抽样法					
	试验种类与试验说明书		试验起止日期			
测验条件	环境条件		环循条件(与说明书不同之点)			
	测量特性项目					
	失效判别基准、失效模式定义					
试验结果	试验经过时间	试验样品总数	累 积 失 效 数			
			失效 I	失效 II	失效 III	失效 IV
	失效率(1/10 ⁶ 小时)		失效 I	失效 II	失效 III	失效 IV
	测定值(点估计)					
	评价值(置信度%)					
	对应于评价失效率的实际时间					
	平均损耗寿命					
	失效分布参数					

可靠性指标作出正确评价。在有限次试验中，随机事件出现的频数可能与它的概率值相差甚远。因此，必须对产品进行大量的统计试验或长期观测，在原始数据达到一定信息量之后，才能得到可靠性指标的正确结论。

(3) 统计分析方法的合理性

从现场取得的试验观测值，只是产品整体中的个别样本值。要想从局部观测值去推断总体统计特征值，必须有合理的数据处理方法和统计分析手段。同一产品选取不同的样品进行试验，将会得到不同数据；而同样的试验数据，采取不同的分析处理方法，也会得到不同的结果；数据及分析方法相同时，结果还会因人而异。如何解决这些差异造成的不理性，是统计分析要研究的问题。本书在以后的章节中将讨论这些方法。

§ 2.2 可靠性数据的统计特性

任何一个物理量,其客观真实的数值称做该物理量的真值。尽管力图得到待求物理量的真值,但由于误差存在,真值实际上是得不到的。可靠性数据,经常是从全体中抽取部分进行分析试验得到的,再通过这些数据来推断整体的性质,因此就更谈不上获得真值,只能是具有某些统计特性。

为了叙述方便,提出以下概念:被考察对象的全体为总体;总体中每个单元称做一个样品;从总体中抽出的一部分样品称做一个样本(或称子样);样本中包含样品的个数,称做样本的大小。

得到的一组可靠性数据,具有什么特性?几组数据之间的差异是什么?这经常是需要用数值来定量表示的问题,其中最基本的要求是用数值来表示某组数据的中心位置和分散程度。

1. 平均值

平均值的意义表示一组数据的中心位置。设有 n 个数据 x_1, x_2, \dots, x_n ,则平均值由下式计算

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2-1)$$

如果数据较多,经常使用加权平均值的概念。例如,对某批电容器进行测量,该批电容器共有 n 只(n 较大),共得到 k 个不同的电容量值 x_1, x_2, \dots, x_k ,其中 x_1 有 μ_1 只, x_2 有 μ_2 只, \dots, x_k 有 μ_k 只($\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_k = n$),其加权平均值由下式表示

$$\bar{x} = \frac{\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \dots + \mu_k x_k}{n} = \frac{\mu_1}{n} x_1 + \frac{\mu_2}{n} x_2 + \dots + \frac{\mu_k}{n} x_k \quad (2-2)$$

2. 极差

样本中最大观测值与最小观测值之间的差 R 称作极差,即

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (2-3)$$

极差计算简便,但用它来表示数据的分散程度时不够精确,特别当数据个数 n 较大时更是如此,因为极差只反映了一组数据的两个极端值。

3. 方差

方差表示各可能测得值在其平均值周围的分散程度。设有 n 个观测数据 x_1, x_2, \dots, x_n ,其平均值是 \bar{x} ,则该组数据的方差由下式计算

$$\begin{aligned} S^2 &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \\ &= \frac{1}{n-1} \{ (x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2 \} \end{aligned} \quad (2-4)$$

由上式可知,子样的方差愈大,这 n 个观测值的分散程度愈大。为了计算方便,在实际计算中,子样方差通常按下式计算

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \quad (2-5)$$

4. 标准离差

标准离差是方差的算术平方根，其定义为

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2-6)$$

标准离差 S 与观测值 x 具有相同的量纲，有时使用方便。

§ 2.3 可靠性与可靠度的概念

第一章对可靠性的地位和作用做了概括的描述。我们已经知道，性能指标不涉及时间因素，而可靠性指标是与时间（产品的使用寿命）密切相联的。

1. 可靠性定义

产品在“规定条件”下和“规定时间”内，完成“规定功能”的能力称为产品的可靠性。

(1) “规定时间”。不谈时间就无可靠性可言，而规定时间的长短又因产品对象不同和使用目的不同而异。例如，火箭发射系统（成败型系统）要求在几秒钟或几分钟内可靠，海底电缆系统则要求几十年内可靠。一般说来，随着时间的延续，产品的可靠性将会越来越低。因此根据产品使用场合和环境的不同，在设计时就应考虑产品的使用期、保险期或有效期。

(2) “规定条件”。通常包括产品的使用条件、环境条件、负荷大小、工作方式、维护情况和操作技术等。这些条件还可以再细分，如环境条件包括气候环境和机械环境；工作方式可分为连续工作和间断工作等。这些条件对产品的可靠性有直接的影响。因此讨论可靠性必须指明工作条件。

(3) “规定功能”。通常用产品的各种性能指标来刻划。经过各种试验之后，如果产品能够达到各项规定性能指标，则称产品能完成规定功能，否则称该产品丧失规定功能。把产品丧失规定功能的状态叫做产品“失效”或发生“故障”，相应的各项性能指标就叫做“失效判据”或“故障判据”。在讨论某一产品的可靠性时，必须对判据做出明确规定。

(4) “能力”。在可靠性工作中，对能力必须给予定量描述，以便说明产品可靠的程度。度量产品可靠性的“能力”通常指各种可靠性指标。

2. 可靠度的定义

可靠度是对可靠性的定量描述，它是时间的函数，故又称可靠度函数。定义如下：

产品在规定的时间内和规定的条件下，完成规定功能的概率，称为产品的可靠度，记为 $R(t)$ 。

从可靠度的定义出发导出其数学表达式。首先，某一具体的可靠度，是针对某相应的特定时间而言，如果所指时间不同，其可靠度的数值必然不同。容易想象，任一产品，随着时间的延续，其可靠度将下降。用 T 表示产品失效前的工作时间，即产品的寿命。规定时间 t 的大小，可能 $T > t$ ，即寿命大于规定时间；或 $T < t$ ，寿命小于规定时间，未到时间 t 产品即已失效。对于个别产品来说，很难断定它的寿命究竟是多少，但对于大批量的同一种产品来说，其寿命构成一随机事件，因而具有确定的概率。