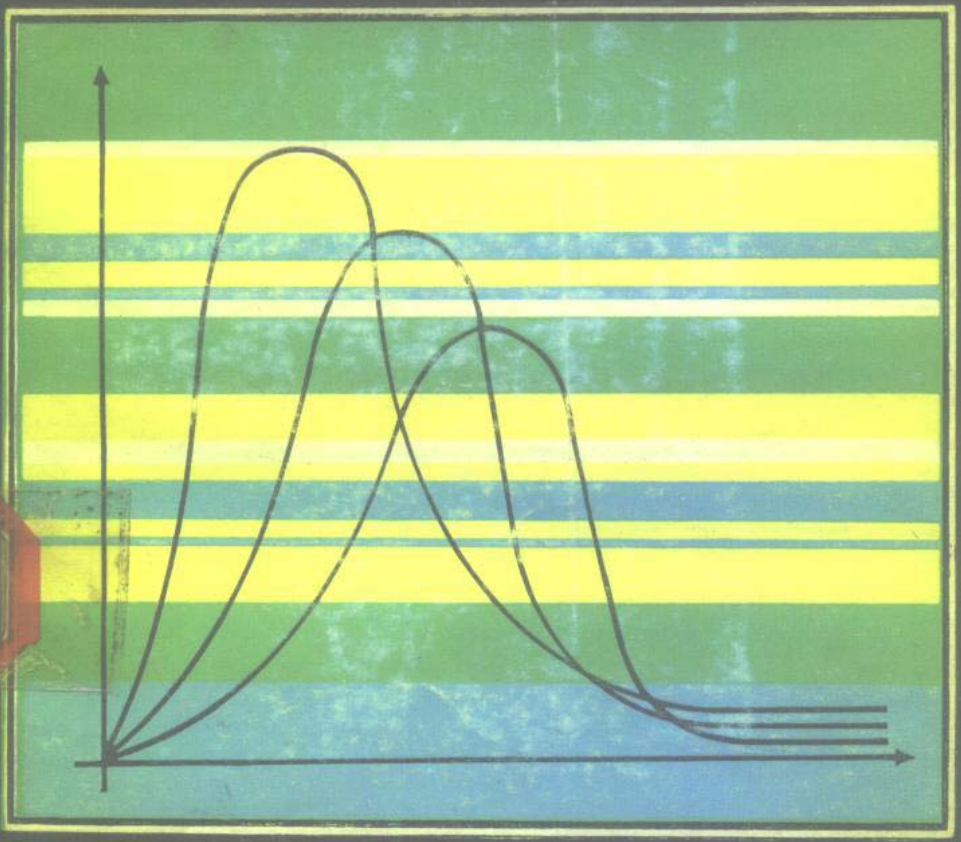
测量设备及自动化系统可靠性理论

埃·施尔弗 著

裘华徕 丁永健 译



上海翻译出版公司

测量设备及自动化系统可靠性理论

埃·施尔弗 教授 著

裘华徕 丁永健 译

李中强 校

上海翻译出版公司

测量设备及自动化系统可靠性理论

〔德〕埃·施尔弗 著
裘华徐　丁永健 译
李中强 校

上海翻译出版公司
（上海复兴中路 597 号）
新华书店上海发行所发行　崇明红卫印刷厂印刷
开本850×1156　1/32　印张 8·125　字数218000
1989年11月第1版 1989年11月第1次印刷
印数 1- 1,200
ISBN7-80514-293-9/TP.35
定价：3.80 元

中译本序

我们教研室同中国科学家之间已经建立了有规律的、经常的交流。一九七九年以来，中华人民共和国的科学家在我们这里工作从未间断过。我本人也曾有幸在中华人民共和国讲授电测技术及可靠性理论。

在此良好合作的基础上，一九八五年在中华人民共和国出版了我的“电测技术”一书中文版。现在，由于我的朋友裘华徕、丁永健先生的努力，“测量设备及自动化系统可靠性理论”一书中文版问世了。我在此向他们，以及中译本的审校者李中强先生表示衷心的感谢。

本书书名给人的最初印象，也许是偏向理论、数学的。实际上，所有在书中阐述的对象，都直接来自实践。作者过去在企业中从事了十七年发电站建造与计划工作，一九七五年以来，领导慕尼黑技术大学电测教研室，同时，担任工业设备特邀鉴定人。本书中融汇了多年的大量的工作经验。

我希望本书在中华人民共和国能受到读者的好评。我们要为人类幸福设计制造出不仅能运行，而且是可靠的设备。但愿本书能对此有所贡献。

德意志联邦共和国
慕尼黑技术大学教授
E. Schrüfer

一九八八年三月

译者的话

E. Schrüfer 教授所著的"测量设备及自动化系统可靠性理论"一书是一本为电气工程系大学生，研究生及工程技术人员编写的教材。E. Schrüfer 教授自 1976 年在慕尼黑技术大学担任电测教研室主任以来，以本书作为教材向电气工程系学生讲授可靠性技术理论。在此以前，E. Schrüfer 教授在联邦德国电站联盟（KWU）多年从事核电站设计及安全分析工作。该书的理论推导简练易懂，自成体系，而占该书主要篇幅的技术部分，总结了作者长期以来的工作经验。因此，该书既是一本很好的教科书，又是一本有实用价值的参考书。

这次，我们翻译此书时，E. Schrüfer 教授又慷慨地提供了该书将要再版时的德文原稿，使得本书的翻译本补充了一些新的内容。对此，我们向 E. Schrüfer 教授表示衷心的感谢。

在慕尼黑进修的访问学者、上海核工程研究设计院的李中强同志及上海建材学院的戴明远同志，在本书翻译过程中，给予我们不少有益的建议和帮助，我们表示十分感谢。

本书的翻译出版过程中，得到了上海科技出版社及上海翻译出版公司的同志们的大力协助，以及联邦德国汉莎出版社允许我们翻译此书在中国出版，在此，我们一一表示谢意。

译 者

一九八六年九月于慕尼黑

前　言

性能可靠的部件和系统不是从天上掉下来的，而是精心设计的结果。在设计和开发阶段，就必须开始这方面的考虑，仅仅依靠后来的测试或检查是不够的，设计本身的可靠是必不可少的："可靠性只能设计进去，而故障只能被测试出来。"

因此，本书不是为数学家，而是为工程技术人员写的。尽管如此，数学分析还是占了本书的三分之一强。本书中将故障作为随机事件来讨论，并计算其概率。为此所需要的概率和统计知识(从比较一般的前提出发)在第二章和第三章中作了介绍。介绍时，既考虑到已经很久不接触数学的读者，又考虑不能花很多时间学习可靠性技术的读者。尽管有这两方面的限制，还是对几乎所有公式都作了推导。读者应该弄懂全部数学基础，才能正确地应用它，并看到其局限性。

占本书主要篇幅的技术部分，首先讨论引起元件失效的因素，设计师可以通过合适的定量设计来提高部件的可靠性。同样也可以通过适当的结构来提高设备的使用寿命。如果采用冗余结构，空间分隔，电气隔离和多样化技术，则可以得到非常可靠的系统。

对不可修单元要着重讨论的是失效概率，而对可修单元则是其不可用度。维修对提高可靠性起决定性作用，但其前提是故障的识别，所以专门用一章的篇幅来讨论故障识别的方法和可能性。

仅仅实现设备和系统的可靠性是不够的，我们还应该证明其可靠性。电子元件可以通过给出其失效率或平均寿命来证明其可靠性。故障效应分析主要用于设备的可靠性，而故障树分析则用于系统的可靠性描述。利用这些量可以计算出失效概率和不可用度，以及在某些情况下和安全性有关的失效概率和不可用度。

本书是给电工系学生每周三学时(半年)的一门课程的讲稿，但它对已参加工作的设计人员，鉴定人员和专家们也有参考价值。本书的目的是为提高自动化设备的可靠性作出一点贡献，并介绍可靠性证明的方法。

在讲课和整理手稿的过程中，我从教研组的助教们，特别是G．Hensgen工程师、G．Kaziech工程师和G．Lebelt工程师处得到了不少帮助。B．Hofmann女士耐心和毫无怨言地誊写了本书的文字和公式，A．Koppe女士细心地画了大部分插图。C．Hanser出版社的联系人也给了我很大支持，在此我向他们表示衷心的感谢。

目　录

1. 导　论

1.1 可靠性的意义

设备和系统越复杂，对可靠性的要求越高。随着技术的发展，测量、控制和计算机技术的设备和系统越来越准确、越快、越全面。同时，一台设备所具有的部分功能也越来越高，这就导致了各种元件的不断增加，价格也同样比以前要贵。用户首先看到的往往不是各种各样的功能，而是价格的增长。如果新的较贵的设备经常发生故障，他们就会感到失望，以至恼火。他们出了高价，也就希望得到更高的可靠性。为达到这一目的，必须在开发和生产过程中就特别考虑到可靠性这一点。

不仅仅是设备，而且由设备所组成的系统也越来越复杂。过去分散解决的任务，现在常常集中在一起，譬如在一台大型计算机上进行处理，这一台计算机发生了故障，整个系统也就不能工作。在一台分散的设备中，则与此相反，一个故障只影响部分功能。例如，联邦邮电局集中式电传和数据网中的一台程控交换设备包括150000个集成块，110000个三极管，190000个二极管，400000个电阻和150000个电容器/1.14/。这里的和类似的系统中需要采用特别措施，以保证一个部件的故障不至于导致整个系统的失效。

航空和航天事业中所采用的系统也许是最复杂的系统了，所以，这个工业分支比较早地看到了可靠性这一问题，并寻找了提高和改善可靠性的方法。本书中所要讨论的方法中有几个就是来自这一领域的。

通过可靠性降低总成本。可靠性的提高首先需要费用，因为

需要采用较好的元件，并只让其在额定条件下工作，此外还要设计包括部分冗余功能部件的容差结构。为了识别和筛选坏的零件所需的工作量也是相当大的，因此，生产成本是随可靠性的提高而增加的。

不过另一方面，设备和系统的无故障工作给用户带来了好处，修理次数，特别是停工时间及由此引起的损失减少了，就是说设备和系统越可靠，用户修理和停工所付出的代价也就越低。

西方工业界常常进行成本——效益分析和总投资的优化。根据这一原则，当购置费用（图 1.1 中的 a 曲线）与修理费用及停工损失（图 1.1 中 b 曲线）两者之和最小时，可靠性的设计程度为最理想。

日本人对此据说有不同的看法。他们把可靠性看作为本身就应该追求的特性，设备首先选得尽可能最佳。他们的成就证明，日本工业界在这一点上是对的（图 1.2）。在录象技术发展以前的 1977 年，日本出口了四百万台彩色电视机，而他们自己只进口了 452 台。可靠的设备将帮助保护欧洲共同体电子娱乐工业的五十

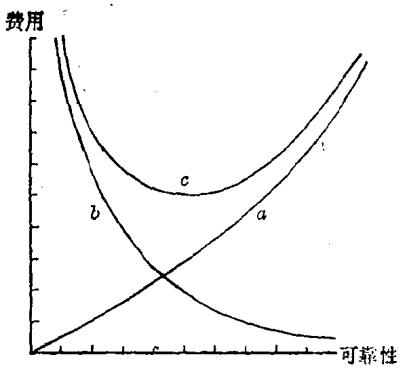


图 1.1 可靠的仪表和系统的生产成本较高（a 曲线），但其修理费用及停产损失（b 曲线）较低。为了使总费用 c 最低，需要可靠性较高的单元。

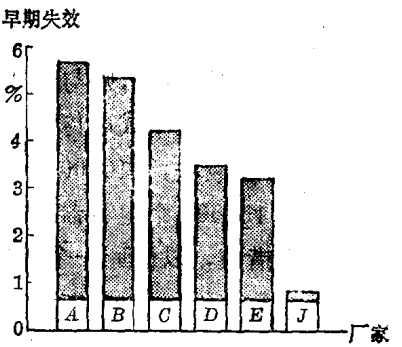


图 1.2 8151 台彩色电视机的早期故障（1977/4.29/）。A 至 E 德国厂家，J 日本厂家。

万个职位。

下面再举一个能源技术的例子。如果将一个承担基本负载的火力发电站的可用度提高0.1%，也就是说每年约增加九个满载工作小时，则其成本的降低相当于将电站扩大一倍，即由300MW扩展到600MW/1.15/。

可靠性保证安全性。为了保证人生的安全，某些过程必须不惜代价地维持在规定的范围内。比如说化工中要加工的有毒物质是不允许外泄的；飞机的安全着陆也需要工作正常的电气系统；某些交通工具的安全性也完全是靠电气信号来保证的；为了保证核电站在发生故障时安全停堆和防止放射性物质的外泄，也需要作出特别的努力。在上述各种情况下，电气设备的安全性是不可缺少的前提，是无论如何都得保证的。

电气工业的用户期待可靠性指标。由于可靠性是一值得追求的、甚至是必不可少的特性，所以生产厂商必须给出其产品的可靠性指标。要求保证可靠性的情况越来越普遍，系统较大时尤其是这样。例如当“假设参照范围”为2500公里时，微波通讯传输系统的可用度为99.7%，距离较小时，可用度要求相应更高。慕尼黑至汉堡这一段路程在一年中最多只能停机一小时（包括大气层干扰）。

出故障时影响人生安全的电气系统必须经过有关部门的检验和准许才能投入使用。在检查过程中，由中立的专家们（如技术监督联合会）来检验有关系统。特别要检查那些能引起设备失效的事件。只有在发生危险事件的概率足够小的情况下，才签发运行许可证。

可靠性不是天生就有的，而是设计的结果。为了得到可靠的设备和系统，必须在生产的各个环节付出特别的努力，而设计阶段尤为重要，如果这一步走错了，要想通过后来的修改达到所希望的可靠性几乎是不可能的。因此，研制设备或设计系统的工程师和科学家们应该了解和掌握保证可靠性的方法与手段。本书的目的正是为了在这方面起些促进的作用。

1.2 可靠性的定义

在多次使用了“可靠性”一词后，现在我们给出德国工业标准(DIN)40041 中的定义：“可靠性是指某一单元在给定的时间内满足按其使用目的所提出的要求的能力。”

在实际使用中，一个单元只有满足及不满足要求两种可能的行为，也就是说按照 DIN 40041 的定义，可靠性是一个二值量。

本书中，“可靠性”的概念与美国军事标准(MIL—STD) 721 和国际电工组织(IEC)公布的 271 相一致，等同于“残存概率”，也就是说，可靠性是所考虑的单元能满足对它的要求的概率。