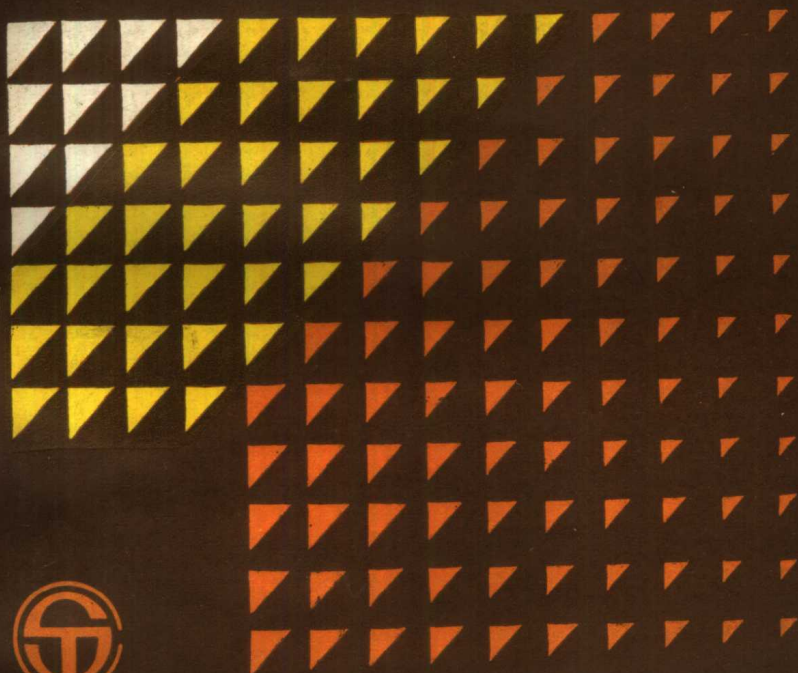


[英] H·J·H· 瓦塞尔 著

工程产品 的可靠性

牟致忠 谢秀玲 译



上海翻译出版公司

3.7
8

工程产品的可靠性

(英) H. J. H. Wassell 原著

牟致忠 谢秀玲译 唐金松校

上海翻译出版公司

Reliability of Engineering Products

作者 H. J. H. Wassell

原出版者 Oxford University Press, 1980.

工程产品的可靠性

牟致忠、谢秀玲译

上海翻译出版公司

(上海武定西路1251弄20号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 (印张 3) 字数 63,000

1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷

印数 1—3500

统一书号: 15311·5 定价: 0.85元

中译本序

可靠性工程作为一门边缘性的工程学科受到重视，已有三十多年。在此期间，可靠性工程不仅在航空、航天和电子技术中的应用有了很大发展（阿波罗飞船登月成功，是可靠性工程技术获得成功的最生动的例证），在其它工业部门也逐步得到了推广应用。E. J. Henley 和 H. Kumamoto 在 1981 年写道：“在过去的十年内，没有其它应用科学象安全、风险和可靠性分析这样得到惊人的发展和推广，可能只有环境科学和计算机技术是例外。”

坪内和夫在 1971 年写道：“在美国，可靠性问题涉及的范围极广，甚至连基层中小企业的产品也具有高可靠性，所以对每个小零件均可放心使用。可是，日本中小企业的水平却很低，所以现在必须彻底解决可靠性问题。”从那时以来，日本在民用产品方面应用可靠性工程技术取得了巨大成功，其超大规模集成电路的可靠性水平已经超过了美国，其汽车、工程机械、彩电等机电产品由于可靠性高而能畅销全球，从而为日本带来巨大的经济效益。这些历史的经验是值得借鉴的。

早在六十年代初美国产业界兴起可靠性运动之际，就有人预言，只有那些可靠性高的产品及其企业，才能在日益激烈的国际贸易竞争中幸存下来。而在八十年代，日本人则断言，今后产品竞争的焦点是可靠性。

目前，我国关于可靠性的著作仍然不多，适合于广大工程技术人员和管理人员阅读和学习的可靠性专著则更少。牛津大学

出版社为英国标准协会设计委员会和工程协会理事会出版的《工程产品的可靠性》(1980年)是一本值得一读的好书。书中虽然没有介绍很多数学公式,但却注意把读者的工程实践经验与可靠性的基本原理联系起来,因此通俗易懂、有一定的实用价值,而且本书的篇幅不长,举例不少,语言生动,插图新颖,特别适合于希望更新知识但又没有太多时间去进行系统学习的工程技术和管理人员阅读,也可以作为短训班的教材。

本书的第二、三、四、五、六节和附录1由谢秀玲译出,其余由牟致忠译出。多蒙唐金松副教授在百忙中仔细审阅和校对全书,谨在此深表谢意。限于时间和水平,译文中如有不当和欠妥之处,请读者不吝指正。

牟致忠 谢秀玲

1986年1月

目 录

中译本序.....	1
绪言	1
1. 可靠性与用户.....	3
1.1 质量与可靠性的性质.....	3
1.2 产品责任的变异性.....	5
1.3 产品能力的变异性.....	6
1.4 失效的重要性.....	7
1.5 失效模型.....	8
1.6 向用户开放的可靠性选择方案	12
2. 购买和销售方面的可靠性	15
2.1 为市场做准备	15
2.2 市场的种类	16
2.3 可靠性费用	19
3. 可靠性设计的几个方面	22
3.1 系统网络法	27
3.2 失效模式与影响分析	28
3.3 两种方法的比较	28
4. “避免失效”的方法	29
4.1 控制产品的工作载荷	29
4.2 保持产品简单	29
4.3 预测产品的可靠性	30
4.4 研究零件之间一些变化的交接面	31
4.5 特别留意明显简单和熟悉的零件	32

4.6	研究革新的影响	33
4.7	考虑增加冗余系统的可能性	33
4.8	严格地检查每个零件的应力水平	34
4.9	考虑人的局限性	36
4.10	产品的试验设计	37
4.11	考虑系统设计方法	39
4.12	在生产和使用中把注意力集中在可靠性估计上	42
5.	影响设计师的进一步的可靠性方法	46
5.1	“持续工作”法	46
5.2	“让产品失效, 然后修理”法	48
5.3	费用法	51
6.	生产工艺对可靠性的影响	54
6.1	设计师与生产工程师之间的合作不够	55
6.2	不适当的工艺过程控制	55
6.3	不适当的技术工人操作	56
6.4	不适当的外购件管理	57
6.5	不适当的习惯和做法	58
7.	在质量标准规范中确认有限的可靠性	60
7.1	期望的可靠性能够定量吗?	60
7.2	有限的可靠性应当怎样定量?	62
8.	可靠性管理	64
8.1	规定可靠性责任	64
8.2	规定产品的质量	66
8.3	准备可靠性计划	67
8.4	设计和程序	68
8.5	周期性的检查进展情况	69
8.6	计划鉴定的措施	69

附录 1: 失效的形态	71
正态分布曲线	71
多原因失效分布	74
附录 2: 在电气和机械设备中影响可靠性侧重点的因素 ...	77
附录 3: 串联和并联元件的可靠性预测	79
附录 4: 关于使用的词汇及注解	83
英国标准	86
参考文献	88

绪 言

设备可靠性要达到满意的程度，与很多人有关。事实上，他们对可靠性的影响形成了一个回路（见图1），围绕这个回路，影响及其后果有时可能要循环好几次，在达到满意之前，要经过好几年的时间。有时在满意出现之前，回路破坏了，而用户必须忍受他设法得到的东西。否则的话，他将涉及到不合理的费用或时间推迟，或两者兼而有之。影响可靠性的因素多而复杂，因而围绕着回路发生误解和互相指责，是不是为奇的。

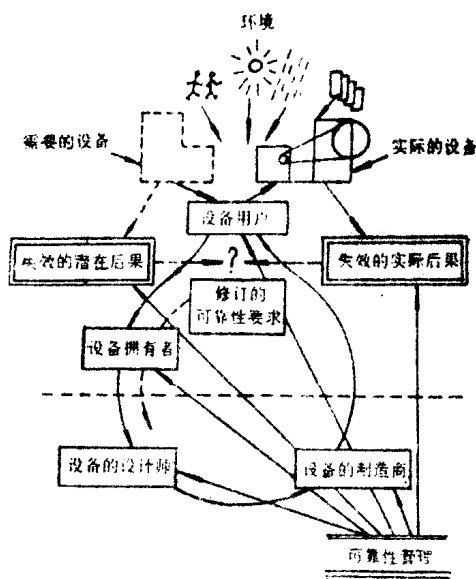


图1 可靠性回路

作者的希望是，本书能为所有那些与设备可靠性有关的人们提供更好的互相理解的基础。为此，回路从设备的用户开始（因为他必须承受失效的主要压力），而沿着回路的周围，包括关于可靠性管理的部门，它与回路的所有部分互相联系。也许本书的最大部分是专门用来研究设备的设计师对可靠性的影响，因为正是他对达到可靠性负主要责任，他必须懂得所有的围绕回路的情况。虽然可靠性的基本原理对于电气设备和机械设备两者基本上是相同的，但在这两个工程部门之间，重点是有差别的，这些差别部分地在正文中、部分地在附录 2 中加以说明。

因为在本书中采用一般方法，所以给出的统计可靠性理论仅仅是非常概括性的，以便描绘一幅合理的综合性图画，而要求读者去参考许多标准的与主题的某一特殊方面有关的著作。在可靠性工程中使用的名词术语不一定与日常用的相应术语的意思相同，而词汇表可见附录 4。读者应仔细地考虑所使用的单词的意思，因为这将证明在理解主题时极有帮助。

1. 可靠性与用户

1.1 质量与可靠性的性质

正是产品的用户，他必须承受失效的主要压力。产品是用来满足需要的，也就是说，用来完成一个或多个功能，其中的每一个利用了产品的某些特殊性能，例如，一个肯定的功率额定值，或与规定的空间相适应的能力。可能以下列方式对产品的功能提出要求：在一定的环境中耐热、防雨、防尘、抗振；由非熟练的操作人员使用；投入工作或使其闲置以适应正式的或非正式的时间进度表。换句话说，对产品提出了一定的“责任”要求，如果产品要能够使人满意，而且其“失效”水平要使人可以接受（因为没有产品是十全十美的），那它必须从开始使用一直到有用寿命终止都具有提供这种责任的“能力”。

因此，用户（和设计师及制造商）需要正确地规定对产品的要求，并且能够验证产品实际上的确满足了要求。在这方面，两个已经给出精确含意的单词是“质量”和“可靠性”。事实上，质量是所要求的产品责任，而可靠性是产品提供质量的能力。必须注意，应永远按照定量的技术意义来使用质量和可靠性这两个词。

在使用中需要用到由产品的“质量标准规范”确定的责任，而产品（在5秒或5年之后）却没有能力提供时，产品的可靠性是不够的，因而失效发生。这种失效的原因可能出于产品内部的某处，这时它被称为产品“缺陷”。只要对产品提出的责

任不超出产品的能力(许多产品仅仅使用其能力的一部分),缺陷就能够存在于产品的内部而不引起任何失效。失效的一个外部原因是用户提出了超过规定质量的责任(过载)要求。这类失效可能仅仅暂时地影响一个产品,一旦排除过载,产品的性能仍会恢复正常;但是它也可能引起永久性的破坏,它可能局限于单个零件,或者由于连锁反应而扩大到整个产品。常常参照各种不同的特点主观地解释失效,即失效的原因(误用或固有的)、失效的突然性(突然地或逐渐地)、失效的程度(部分地或全部地),或根据这些特点的综合来解释失效,例如突变失效是突然的和完全的。

除非失效属于暂时的性质,否则用户必须更换或修复出故障的零件,或者“携带着”故障一直到它更便于校正的时候,在此期间,相应地降低对产品的要求。飞机上发生次要的设备故障时常常这样做,一直等到抵达一个合适的修理基地。

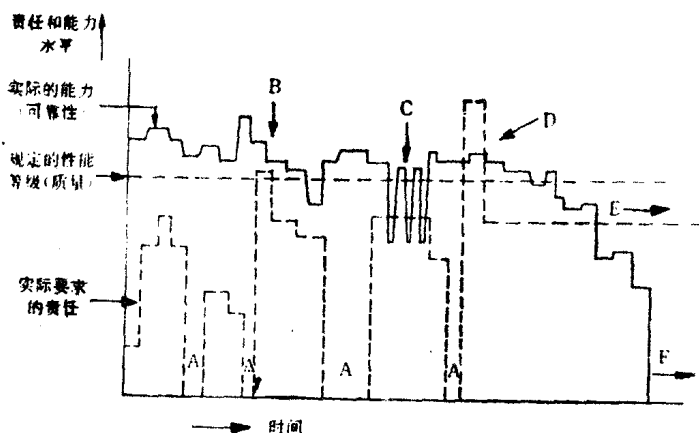


图2 对于单一的质量属性,在工作寿命期间,产品的责任与能力之间的典型关系: A——产品不使用的时期; B——施加的责任大于规定值,但不大于实际的能力(没有失效); C——间歇失效; D——暂时失效(无永久性破坏); E——由于能力降低引起的失效; F——由于完全丧失能力引起的失效。

图2说明责任与可靠性之间的关系，并表示出某些失效是怎样发生的。

质量标准规范以适当的技术和美学术语列出了责任的“属性”(这是一个描绘特点和性能两者的方便术语)。可靠性用这样的术语表示，这个术语反映了任一背离质量标准规范(即所要求的责任)的数量，而且它与产品失效对用户的特殊影响相称。一旦产品投入工作，可靠性是能够量度的，但在此之前可靠性仅能被估计为一种概率。

虽然满足需要的费用不是质量或可靠性的直接组成部分，但在判断产品价值时，它们是有关系的，特别是在对不同的方法进行比较的场合。因为没有产品是完美无缺的，重要的是质量标准规范应当确定根据用户和供应商之间的合同可以接受的可靠性水平。很多待售的产品只提供它们能满足的责任的最一般的说明书，而产品的用户却常使它们过载，因为他们不理解产品在失效前能承受些什么。于是，它们显示出所谓的“不可靠性”，或许它可以定义为“在没有定量的条件下产品对满足需要的无能为力”。不可靠性是不能预测的。

设备的用户和制造商双方都需要“管理”他们的活动，为的是他们可以对合同规定的质量事实上将作为可接受的产品可靠性而存在感到有“保证”，而为了做到这一点，他们应用了“质量保证”和“质量管理”的方法。

1.2 产品责任的变异性

质量标准规范确定了产品在寿命期内期望的责任。某些责任可能规定包括特殊的环境，而这些环境可能事实上永不发生。通常，标准规范考虑了预先提出的责任和规定责任之

间的安全裕度，但在任一给定时间所要求的责任将是在质量标准规范中列出的综合属性，包括不同的等级、自然和人不同的组合以及机构的环境。某些产品的责任能够合理地、客观地确定，例如面包刀和发电机，但是其它的产品（如剪草机）可能会遇到难以确定的责任：草可能有长短和干湿，而草地上可能覆盖着石块或孩子们留下的碎屑。某些产品例如潜水艇电话中继器，可能连续使用很多年，而另外的一些产品例如联合收割机，可能每年只用几个星期。对于许多产品来说，用户对能力的概念将根据过去的经验，这种经验可能是少的，因而对产品要求可能会增多，直到停止响应或者破坏。产品责任可以有益地分为三类：

(1) 未得到控制的责任 这里，对责任的唯一限制是根据操作人员的判断决定的；

(2) 严格的责任 这里，限制是由产品内部的技术手段或机构的纪律调整到某些更有意义的载荷；

(3) 得到控制的责任 这里，所有重要责任的等级专门在产品应用的内部加以控制。

1.3 产品能力的变异性

单一的产品样本可能由于下列的一个或几个原因而在其有关任一特殊属性的能力方面显示出变异性：

(1) 属性的大小等级可能取决于其它的产品变量，例如，机械的功率输出可能取决于其速度；

(2) 有关特殊属性的能力可能受到产品使用环境的影响，例如效率由于高温而降低，或因操作者缺乏经验而降低。

(3) 由于磨损、腐蚀或其它因素，特殊的能力可能逐渐地恶化。

(4) 由于零件失效, 可能发生突然的损坏

讲到特殊的属性, 同一产品的不同样本, 其能力可能不同, 其原因或者因为在达到制造目标的时候, 成功中出现了变异性, 或者因为在操作中人或机器的差错。

1.4 失效的重要性

产品失效对用户的重要性取决于其后果, 根据产品失效时发生的情况, 失效的后果可能是属于财政的、技术的、社会的、安全的或政治的性质。读者可能喜欢依次地考虑他所依赖的设备的这些后果中每一个的个别影响(范围从可以忽略的到绝对灾难性的)。如果失效的后果是严重的, 用户必须积极地想办法降低其发生的概率, 他可以: (1) 购买非常可靠的产品, 即使这些产品很昂贵; (2) 设置或雇用一个非常有效的维护和修理机构; (3) 备有标准的、准备替换用的产品; (4) 采用其他的预警措施; (5) 如果失效的后果能忽略不计, 他可以什么事也不要做。如本来可以预料到的, 采用措施(1)到(5)的每一种想得出的综合来满足实际情况固有的失效可能性。

因此, 谨慎的用户列出了当产品失效时(不是“如果”失效, 因为所有的产品或早或迟都要失效)可能的后果, 然后把它们与最合适的可靠性量度方法联系起来, 例如平均无故障工作时间(MTBF)、平均修复时间(MTTR), 以及产品的可用率(或不可用率)。此外, 虽然没有严格的量度单位, 产品的主人也使用这样两个尺度: “每次失效的平均费用”(或每年的总“失效费用”)和对于规定的重要工作期限的“失效的时间节拍”。

为了适合产品拥有者优先考虑, 不论选择哪一种可靠性

尺度，如果可靠性不够的话，他需要采取行动，而这要花费金钱。潜在的失效对产品拥有者的重要性可以通过对每一种失效分配一笔经费来确定其量值，这笔经费代表了产品拥有者准备支付以便把失效风险减小到可接受水平的价格（通常是国家的价格）。各个数字的总和给出了负责支付可靠性改进活动和减小危险所必需的总数的近似估计，由于产品拥有者自己的失效后果，这种危险对每一个拥有者是唯一的。在本书中，这一总和叫做“避免危险的当量值”（HAVE）。列出避免危险的当量费用中的各个单项，也能帮助提供优先需要遵循的顺序，以改进可靠性。

1.5 失效模型

当用户列出了发生的失效时，他可以决定忽略某些失效类型：例如他能够容易地修复的失效，或者由于他自己的粗心而引起的失效。此外，对他来说重要性大的失效可以在不同的标题下分组，从这些标题里，他考虑后果微小的组。如果他是一个典型的顾客，他的失效一览表可能是心血来潮，而如果他是一个大的产品机构的负责人，他的失效一览表是具体的和系统的。然而一般来说，他对于失效不具有了解产品内部准确原因的专门知识，所以他可能力图寻找能帮助他预先考虑失效的一般模型，或（如果他是一个足够大的买主）与制造商建立直接的关系以讨论改进产品。

或许用户寻求的最普通的模型是与产品中的出故障零件有关的模型。每一个零件在工作中将会有正常的寿命，这个寿命可能超过产品本身的寿命，但有时也可能如此低，以至于在发生失效时，替换零件必须一个接一个地插入到产品中去，结果是用户变得敏锐地意识到它们。图3(a)说明了在实

际使用期限达到之前,零件性能的恶化。该图显示出,由于制造的变异性,零件的不同样本有着不同的原来性能和不同的衰减性能。这些影响的组合在插入零件后到它失效之间的一段时间内引起了“离散”。可以绘出表示离散的零件寿命的曲线,如图所示,如果(1)变异性的数值比较小;(2)给出的失效时间大于或者小于均值是同样地可能,则离散的数据将十分可能服从所谓的正态分布(见附录1)。进行观察的时间间隔将会影响发生的分布类型,在观察一星期看起来不规则的事件可能变成一个规则模型的组成部分,因而在观察一年的时候服从正态分布。同理,数目很大的产品样本可能服从正态分布,而小的产品样本可能看起来不是这样。

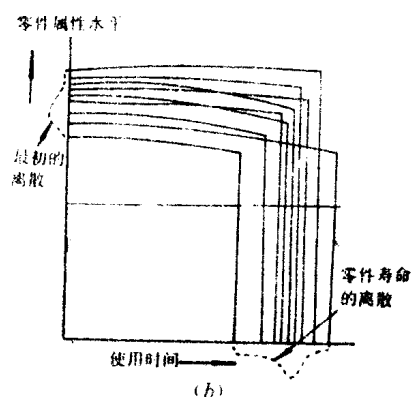
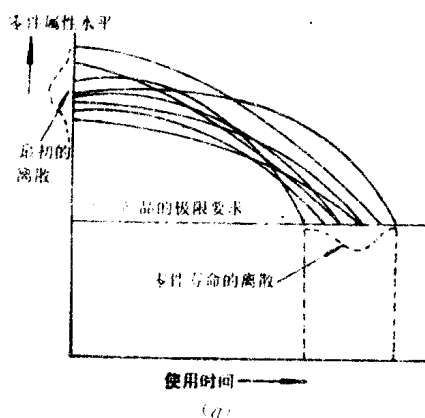


图3 受到逐渐恶化或突然失效的零件的有用寿命的离散:

(a)逐渐恶化,引起的原因有:例如磨损、污损或塑性流动(例如汽车轮胎、过滤器堵塞);(b)突然失效,引起的原因有:例如绝缘破坏、材料蒸发、疲劳或腐蚀(例如电弧直通或横过绝缘体、电灯泡、汽车的排气系统)。