



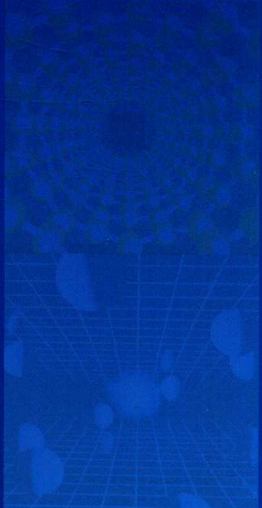
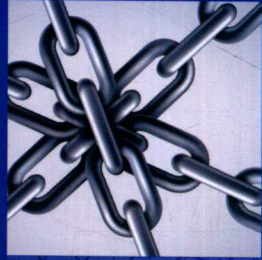
国际制造业先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

工程设计中的 可靠性验证、试验与分析

Reliability Verification, Testing,
and Analysis in Engineering Design

[美] 盖瑞 S.沃瑟曼 (Gary S.Wasserman) 著
石健 译



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际制造业先进技术译丛

工程设计中的可靠性验证、 试验与分析

[美] 盖瑞 S. 沃瑟曼 (Gary S. Wasserman) 著
石健译



机械工业出版社

本书是机械工业出版社“国际制造业先进技术译丛”中关于可靠性的一本专著。

本书共分10章,包括当代视角的可靠性概念及可靠性设计,可靠性评估定义、次序统计入门,可靠性评价中的统计分布研究,参数估计技术概览,分布拟合检验,样例规模测定试验、加速试验,设计验证的工程方法,似然估计(提高篇),对比设计等。每章都有附录图表参考资料。

本书可供可靠性工程师在工程设计中进行可靠性设计试验、评估验证时参考。

Reliability Verification, Testing, and Analysis in Engineering Design
Gary S. Wasserman

ISBN 0-8247-0475-4

Copyright © 2003 by Marcel Dekker, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means whatsoever without written permission from the publisher.

Chinese Simplified language edition published by China Machine Press.

本书中文版由机械工业出版社独家出版发行。未经机械工业出版社的书面许可,不得以任何方式复印本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2010-0490号。

图书在版编目(CIP)数据

工程设计中的可靠性验证、试验与分析/(美)沃瑟曼(Wasserman, Gary S.)著;石健译. —北京:机械工业出版社,2015.8

(国际制造业先进技术译丛)

书名原文:Reliability Verification, Testing, and analysis in Engineering Design

ISBN 978-7-111-50784-0

I. ①工… II. ①沃… ②石… III. ①工程-设计-可靠性试验
IV. ①TB21

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第151219号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:沈红 责任编辑:沈红

版式设计:赵颖喆 责任校对:刘怡丹

责任印制:李洋 封面设计:鞠杨

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2015年11月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·18.5印张·359千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-50784-0

定价:79.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:(010)88361066

读者购书热线:(010)68326294

(010)88379203

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

译 丛 序 言

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是20世纪80年代提出的，它由机械制造技术发展而来，通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术进行交叉、融合和集成，并综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，以及快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面；制造技术既有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械设备、电子通信设备、仪器等。
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等。
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前，世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方向发展，在加工技术上主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等；在制造模式上主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流源远流长

近年来, 国际的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用, 制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到, 我国制造业与工业发达国家相比, 仍存在较大差距。因此必须加强原始创新, 即在实践中继承和创新, 学习国外的先进制造技术和经验、引进消化吸收创新; 还要提高自主创新能力, 形成自己的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史, 可以追溯到唐朝甚至更远一些, 唐玄奘去取经即是一次典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式, 早在 20 世纪初期, 我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《进化论与天演论》, 其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》, 对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体, 图书是一个海洋, 虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和存储手段, 但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性。很多人仍觉得看书比在计算机上看资料要方便、习惯, 且不同层次的要求可以参考不同层次的图书, 不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书; 同时, 它具有长期的参考价值和收藏价值。当然, 技术图书的交流具有时间上的滞后性, 不够及时, 翻译的质量也是一个关键问题, 因此需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者做出贡献, 为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源, 翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作, 从而能够提升我国制造业的自主创新能力, 引导和推进科研与实践水平的不断进步。

三、选译严谨质高面广

(1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点图书, 在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量, 力求为读者奉献一套高品质的丛书。

(2) 专家选译把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担, 充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

(3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书, 组成一套“国际制造业先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

(4) 内容先进丰富 在内容上具有先进性、经典性、广泛性, 能够代表相关专业的技术前沿, 对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造

业各行业，如机械、材料、能源等，既包括对传统技术的改进，又包括新的设计方法、制造工艺等。

(5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员，以及高等院校的教师和学生，读者可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先，要感谢许多积极热心支持出版“国际制造业先进技术译丛”的专家学者；其次，感谢积极推荐国外相关优秀图书，仔细评审外文原版书，推荐评审和翻译的知名专家；其三，特别要感谢承担翻译工作的译者，对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切敬意。同时，还要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

希望本套丛书能对广大读者的工作提供切实的帮助，欢迎广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

译者序

曾几何时，“中国制造”作为国际低端、廉价产品的代名词，成为我国的一张并不能引以为豪的名片。无数的我国工程技术人员为改变中国的这张名片而埋头苦干。然而三十余年过去了，当我们抬起头来再次审视我国制造市场现状时，我们十分遗憾地发现，经过痛彻骨髓的产业升级，虽然“中国制造”的产品质量已大幅度提升，但是与国际同类产品相比，“中国制造”的产品在可靠性方面的差距仍然十分巨大。低水平的产品质量始终是制约我国迈向制造业强国的巨大障碍。

伴随着我国正式加入世界贸易组织，“中国制造”企业所面临的全球市场竞争越发激烈。在此背景下，大幅提高产品质量无疑成为提升“中国制造”的产品国际竞争力，改善企业生存环境的必由之路。

可靠性作为产品的固有属性，是产品质量的核心内涵之一。产品可靠性设计、试验与验证技术是工程设计人员必备的专业技能。现代产品设计规范要求可靠性工作须贯穿于整个产品设计始终。如何在产品设计过程中的各个阶段有效地开展可靠性论证、设计、分析、试验、数据统计、验证等工作是检验一个设计人员是否合格的重要标准。

本书具有理论性与实践性相结合的特点。作者在总结其在美国汽车领域可靠性工作经验的基础上，系统地阐述了当前可靠性工程领域中一套完整的可靠性设计、试验、数据统计及验证的理论方法和行之有效的分析工具。本书内容编排合理，所阐述的方法便于掌握，具有较宽的适用范围。本书既可以作为可靠性工程初学者的教程，又可作为资深的可靠性工程师的技术参考书。

限于译者有限的知识水平和能力，本书翻译过程中难免存在瑕疵和错误，敬请各位读者谅解。祝愿读者能从本书中汲取可靠性工程相关知识的营养，为我国早日实现制造业强国的“中国梦”而不懈努力！

译者

前 言

本书的写作风格延续了韦恩 (Wayne) 州立大学的一贯传统。韦恩州立大学数学专业教授 B. Epstein (1948 ~ 1960 年) 在指数分布和极值分布寿命模型研究方面做了大量的先驱工作。随后, Kapur 和 Lamberson (1977 年) 出版了一部知名度非常高的工程可靠性著作, 尽管在这部著作中使用了已过时的线性估计方法, 但该著作所描述的主要方法时至今日仍在业内被广泛应用。为延续这一传统, 本书坚持从工业设计验证技术的实际经验中准确地获取内在的理论和实践方法。

本书写作的动力来自于作者在美国汽车名城底特律长期的工作和生活经历, 这一经历使得作者通过与汽车制造商和一级供应商之间的交流掌握了大量的实际经验。作者曾看到过工程设计人员在设计试验验证方案时由于缺乏必要的背景知识而对于如何确定试验项目茫然不知所措。本书正是基于此项需求, 来为可靠性工程师提供一本应对上述挑战的参考书。

本书可作为在校学生进行实际寿命数据分析的教材, 也可作为专业的可靠性工程同行、相关应用领域的专家和顾问的参考书。本书的内容包括使用 Microsoft Excel 或 Minitab™ 统计计算软件分析的实例, 同时, 每章的最后会有几个简单的练习题。选用 Microsoft Excel 进行数据分析是由于 Microsoft Excel 本身具有简单、普及的特点。对于小工业数据分析的快速性和简易性要求, Minitab™ 也成了学校教学和世界 500 强公司的热门选择。本书并没有要求读者运用这些软件, 将其列出只是为了展示高效的计算机产品的底层实现方法。与本书精神相一致的是, 读者会发现本书没有列出查询正态概率的参考表, 这是为了鼓励读者运用 Excel 或者其他类似软件的内置程序来查询这些数值。本书还举出了许多例子, 这些例子能帮助读者去了解如何定位这些数值。

本书中出现的一些特性和设计公式是独特的, 如:

1) 在介绍章节中, 给出了有关 20 世纪晚期和 21 世纪早期的现代可靠性思想概述, 其中强调了对于故障的理解, 着重指出了理解客户使用配置文件的重要性, 并且强调了在产品的设计过程中可靠性分配的重要性。尽管这一章节没有全面概述可靠性管理技术, 但是确信读者会发现这部分内容的重要性。同时该章节还描述了运用可靠性规划中质量功能配置的方法, 概述了 FMEA/FMECA, 并介绍了 DVP&R 及其与 FMEA 的关系。

2) 本书利用 Microsoft[®] Excel 电子表格和工具 > 解算器及目标搜索的非线性

搜索程序。实际的电子表格与后台信息一起被复制，这些后台信息描述了程序的运行过程。本书描述了如何运用 Excel 来解决 Fisher 矩阵和可靠性矩阵的似然比估计。对于可靠性矩阵，本书详细介绍了如何运用最大似然估计法来分析渐进性。

3) Minitab™ 可以用来分析可靠性矩阵的蒙特卡洛 (Monte Carlo) 区间估计。这一方法并不新颖，但是读者会发现很少有教材会给出这种情形下的蒙特卡洛实际运用方法。本书描述了如何在 Minitab™ 中运用简单宏来运行蒙特卡洛估计程序。

4) 在第 2 章和第 6 章的附录中，给出了秩估计的原理，描述了成功-失败试验中小样本二项式置信界限的发展，还指出相关公式的不同，这些不同点从未被发表在其他文章中。同时，本书还证明了 Kaplan-Meier 和 Johnson 公式的等价性，其中 Kaplan-Meier 是包含改进型 Kaplan-Meier 的乘积极限估计方法，Johnson 公式是用来估计多样的截尾数据秩的方法。这一内容也从未出现在其他文献中。

5) 谨遵 Abernethy 的建议，运用逆秩回归法来评估某一概率图分布的参数。这一方法并不常见，然而，我们发现 Minitab™ (版本 13) 采用了此种秩回归方法。

6) 本书全面并简洁地讨论了一种拟合优度方法，此方法运用 R^2 统计回归来评估拟合度，介绍了如何从概率图的检验中辨别混合和竞争失效模式。针对可靠性模型的浴盆现象，本书还介绍了 Tarum 提出的混合分布形式的运用方法。

7) 第 6 章给出了改进型零故障试验的公式，这通常呈现在更多理论背景的条件下。本章还讨论了截尾试验方法，并详细描述了贝叶斯调整法，这一方法允许样本量减少 1 个。

8) 本书讨论了寿命-应力关系模型的加速寿命技术的运用，还讨论了快速识别设计缺陷的 HALT/HASS 的运用方法。对于加速寿命技术，我们讨论了如何运用 Minitab™ 的内置加速寿命测试程序来建立阿伦尼斯模型，并应用极大似然方法来评估阿伦尼斯模型的参数。

9) 本书试图通过计算机辅助工程技术为设计验证提供平衡，从而研究了有关有限元模型、概率设计等方法的应用。因此，读者可以了解到，未来的试验只会用于设计缺陷的确认而非检修。

10) 第 10 章描述了用于检测寿命数据差异和评估加速系数的分位数图的应用方法。

本书对有关理论内容做出了修改，例如：在第 3 章中介绍了分布建模的基础，其中包括正态分位数改进型评估的 Z 变化的应用方法，这是为了给可靠性专业人员和学生提供相关背景知识及参考资料。第 3 章的附录中提供了许多更先进的资料，而有关似然估计的参考资料在第 9 章中给出。所有人都能从这本书中

获得一些有用的内容，对于经验较少的读者，也能随着他们的进步从本书中获得更多的知识。

最后，要感谢所有对本书进行评阅的人，无论是正式的、非正式的还是匿名的。我向以下人员致敬：哈利戴维森公司的 Dave Deepak、百特医疗用品有限公司的 Yavuz Goktas 博士、福特汽车公司的 Ron Salzman、Rel 科技公司的 James McLinn，西密歇根大学的 Leonard Lamberson、韦恩州立大学 1999 年秋季学期可靠性工程班的学生。

Gary S. Wasserman

目 录

译丛序言

译者序

前言

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 第1章 当代视角的可靠性概念及可靠性设计 | 1 |
| 1.1 什么是可靠性 | 2 |
| 1.2 可靠性建模概述 | 10 |
| 1.3 可靠性规划概述 | 16 |
| 1.4 成功的可靠性规划努力成为可能 | 24 |
| 1.5 可靠性增长管理 | 26 |
| 1.6 练习 | 27 |
| 附录1 FMEA/FMECA/DVP&R | 30 |
| 第2章 可靠性评估定义、顺序统计入门 | 46 |
| 2.1 可靠性指标 | 46 |
| 2.2 $F(t)$ 的经验估计及其他可靠性指标：应用顺序统计 | 54 |
| 2.3 截尾数据的处理 | 63 |
| 2.4 练习 | 68 |
| 附录2 μ 的变形求导及秩估计理论 | 70 |
| 第3章 可靠性评价中的统计分布概述 | 75 |
| 3.1 简介 | 75 |
| 3.2 正态分布 | 76 |
| 3.3 对数正态分布 | 81 |
| 3.4 指数分布 | 84 |
| 3.5 威布尔分布 | 86 |
| 3.6 极值分布 (Gumbel 分布) | 90 |
| 3.7 应用于可靠性分析的其他分布 | 93 |
| 3.8 混合及竞争失效模型 | 94 |
| 3.9 练习 | 96 |
| 附录3A 背景 | 97 |
| 附录3B 威布尔总体矩 | 98 |
| 第4章 参数估计技术概述 | 100 |
| 4.1 简介 | 100 |
| 4.2 秩回归和概率绘图法 | 101 |

| | |
|--|------------|
| 4.3 极大似然估计 | 109 |
| 4.4 正态及威布尔置信区间的仿真分析 | 118 |
| 4.5 其他的估计方法 | 119 |
| 4.6 估计方法选择的建议 | 120 |
| 4.7 指数分布参数估计 | 120 |
| 4.8 三参数威布尔分布 | 127 |
| 4.9 练习 | 131 |
| 附录 4A 蒙特卡洛参数估计 | 133 |
| 附录 4B 参考图表 | 138 |
| 第 5 章 分布拟合检验 | 140 |
| 5.1 简介 | 140 |
| 5.2 拟合优度检验方法 | 140 |
| 5.3 练习 | 147 |
| 附录 5 K-S 统计关键值 | 148 |
| 第 6 章 试验样本量的确定 | 150 |
| 6.1 确认/验证试验 | 151 |
| 6.2 成功试验 | 154 |
| 6.3 成败型试验 | 155 |
| 6.4 指数试验计划公式 | 162 |
| 6.5 威布尔试验规划 | 167 |
| 6.6 尾检测 | 173 |
| 6.7 故障检测 | 174 |
| 6.8 其他管理上应考虑的内容 | 178 |
| 6.9 小结 | 178 |
| 6.10 练习 | 179 |
| 附录 6A 二项式分布 | 179 |
| 附录 6B 失效率 p 的贝叶斯估计 | 182 |
| 附录 6C 威布尔性能 | 185 |
| 第 7 章 加速试验 | 188 |
| 7.1 加速测试 | 188 |
| 7.2 高加速寿命试验 | 191 |
| 7.3 加速寿命试验 | 192 |
| 7.4 物理模型的使用 | 196 |
| 7.5 Minitab 中评价寿命与应力关系的线性统计模型的使用 | 203 |
| 7.6 小结 | 209 |
| 7.7 练习 | 209 |
| 附录 7A $Q-Q$ 图 | 210 |
| 附录 7B 多重截尾数据回归模型参数的极大似然估计 | 213 |

| | |
|---|-----|
| 第 8 章 设计验证的工程方法 | 214 |
| 8.1 计算机辅助工程方法 | 215 |
| 8.2 概率设计 | 216 |
| 8.3 参数模型 | 222 |
| 8.4 小结 | 225 |
| 8.5 练习 | 225 |
| 附录 8 一阶可靠性设计方法 | 226 |
| 第 9 章 似然估计 (提高篇) | 228 |
| 9.1 极大似然点估计 | 228 |
| 9.2 置信区间估计的极大似然方法 | 237 |
| 9.3 练习 | 259 |
| 附录 9A 正态分布参数 μ 和 σ 的 Wolynetz 极大似然估计算法 | 259 |
| 附录 9B 证明: 指数总试验时间 T 服从 $\Gamma(r, \lambda)$ | 262 |
| 第 10 章 对比设计 | 263 |
| 10.1 基于概率或秩回归图比较法 | 263 |
| 10.2 $Q-Q$ 图方法 | 265 |
| 10.3 使用似然理论估计数据的差异 | 272 |
| 10.4 近似 F -差异检验—威布尔和指数分布 | 273 |
| 10.5 小结 | 276 |
| 10.6 练习 | 277 |
| 参考文献 | 278 |
| 参考软件 | 283 |

第 1 章 当代视角的可靠性概念及 可靠性设计

实例

汽车内饰品二级供应商 ANZ 公司近来接到其客户 OEM（委托加工商，如 GE、Ford、Toyota 等）的通知，他们之间的合同还有几个月即将终止。而对于为何要终止合同，ANZ 公司的管理层却并未收到 OEM 的直接回应。通过非正式的协商，ANZ 公司了解到：OEM 已无法容忍数量众多的客户针对 ANZ 公司所生产的零部件质量提出的投诉和保修要求。由于与 OEM 的合作占到了 ANZ 公司业务总额的 18%，ANZ 公司管理层面临这样一种局面：公司已无法再忽视日渐突出的产品质量与可靠性问题。然而，公司业务部总经理此时才意识到；目前 ANZ 公司还没有足够的产品质量保证体系确保所设计制造的产品完全满足规范要求。因此，他慨叹：“我们必须要提高公司产品的可靠性！”

认识到产品质量和可靠性的重要性固然很好，但是究竟什么是可靠性呢？哪些系统的或标准的可靠性工艺需要在产品设计生产中考虑？ANZ 公司的管理层对此问题的认识是否稍许晚了点呢？

作者按：在接下来的六个月时间里，ANZ 公司重新签署了另一项新的合同，从而获得了因终止与 OEM 的合同而损失掉的所有业务，而他们对产品可靠性的担心也因此成了过去时。我们不禁要问：对于一个公司来讲，重视产品可靠性是一项正确的战略吗？为什么？

为了获得高的产品可靠性，必须要对术语“可靠性”的定义有深入地理解。在本章 1.1 中给出了现代“可靠性”的定义，同时概述了产品现场失效的危害。在这一节中，我们特别介绍了以下两个问题：①理解客户角度的“可靠性”。②产品设计工程师必须准确理解产品的用户使用属性。为保证用户需求而应用产品质量功能推动产品可靠性工艺的设计。本章 1.2 首先介绍设计中为验证产品可靠性而规定置信区间 C 情况下的可靠性 R 概念，随后概括了基本的可靠性建模方法。本章 1.3 介绍了可靠性规划并讨论了故障模式影响分析（Failure Mode and Effects Analysis, FMEA）（详见附录）的应用及重要性。

1.1 什么是可靠性

1.1.1 “可靠性”的定义

“可靠性”是指产品“随时间变化的质量”，这种说法具有一定的合理性。然而，质量具有很多内涵属性，可靠性仅是质量内涵的一个方面。若将产品的用户使用属性考虑进去，现代产品可靠性的定义可表述为：可靠性是产品在规定的使用条件下，在规定的时间内达到或超过用户预期完成其预定功能的能力。

上述定义中的每一个定语都必须引起特别关注。该定义中的下述要素将被分别讨论：①产品性能概率；②产品预定功能；③产品规定的生命期；④产品被规定的使用条件；⑤用户预期（用户需求）。

1. 概率

可靠性问题是一个概率问题。因此，在可靠性设计分析中会大量应用到概率分布来对试验和现场数据进行统计建模。产品性能变化的根源可归结为（但不局限于）以下几个方面：①产品所用材料和元部件方面的差异；②产品在生产 and 装配过程中的差异；③产品使用条件的差异；④产品所承受的影响其性能的应力（环境影响的时间、负载等）的差异；⑤产品中不同子系统的相互作用。

接受可靠性的概率性质，即承认随机失效，是产品生产商主要关心的问题。很多生产商都担心，产品可靠性信息的公布会引起用户的不满，特别是在那些由于产品制造质量和产品使用安全性引起人身伤害的案件中。一些公司甚至开始采用其他的术语如“性能残缺”或“功能不全”来避免使用能够引起公众误解的术语，如“故障”或“缺陷”。

2. 预定功能

产品的预定功能必须在产品设计初期预先明确划分出来，以保证重要的用户需求可以被设计到产品功能中去。因此，理解从用户期望角度出发的产品每项功能实现显得非常重要。预定功能的确定也是可靠性规划的一项重要内容。在故障模式影响（及危害度）分析（FMEA/FMECA）的初期，需要仔细检查产品的每一项预定功能，以此来分析产品在实现其预定功能过程中可能发生的所有失效情况。FMEA/FMECA 将在附 1.1 中详细讨论。

有时，工程设计团队在设计过程前期无法准确地划分用户对产品的潜在需求。在有些情况下，产品隐含的功能可能被认为是用户对产品不正确的使用。为了更好地说明这个问题，可考虑下述两种情况。

1) 负责手电筒设计的团队可能会错误地认为“将手电筒用做备用的敲击工具”是对手电筒的不正确使用。这或许会损伤到手电筒可能的隐含功能，即车

用手电筒可以作为锤子使用是手电筒的潜在功能。

2) 随着当今运动型多用途汽车(SUVs)的流行,经常会看到很多人抓住转向盘后侧身进入驾驶室内。如果在转向柱的设计之初没有考虑到这种情况,那么在实际使用过程中,这可能会损坏转向柱。

上述第一个例子很明显是用户错误地使用了产品的功能,然而对于第二个例子就很难证明这是用户不合理使用了产品而导致的问题。从法律的角度来看,产品的生产方必须承担使用他们在产品而出现的所有可预见的错误责任。转向盘用做辅助装置以方便进入驾驶室应当被认为是一个可预见的误操作,因为大型SUVs驾驶室的入口要比普通轿车驾驶室的门高很多,这就要求SUVs的用户不得不找到另一种方便的方式使他们进入驾驶室。

3. 产品规定的生命期

产品规定的生命期提供了产品的使用时间段。目光短浅的生产商也许仅仅选择将他们的产品设计成在规定的保修期内可靠,而具有长远眼光的生产商却选择产品在整个设计生命期内均具有较高的可靠性,这里产品的设计生命期是与用户在现场使用环境下期望的使用时间相对应的概念。从设计者的角度出发,产品生命期的确定依赖于以下原则。

1) 使用寿命:产品预计可达的经济年限。这一术语大量应用于工程经济学和金融领域。超出产品使用寿命意味着对产品维修和维护的成本已无法承受该产品的继续使用,如一台剪草机,只要保证定期加油润滑和清洁过滤器,它的使用周期大约为15年左右。然而,如果剪草机发动机中的气缸或阀发生磨损,维修和更换剪草机动力装置的成本使得继续使用该剪草机已不经济。

2) 保修期:从制造商的经济角度出发,一件产品应当在其保修期内正确地完成其规定功能,以减少产品出问题后对公司造成的负面影响。轮胎制造商经常会根据他们产品质量等级确定他们产品的保修期。面向全球市场的公司懂得这样一个道理:即便超出了产品的保质期,他们也有必要继续做到让用户满意。

3) 设计周期:产品使用规格的确定应当基于用户信息及市场竞争基准方面的信息。工程设计人员经常定义一个测试标准来表示产品的使用规格,在此之下的产品可靠性必须得到验证(见图1-1~图1-4)。在制定产品设计规格时进行充分的研究论证是非常重要的,只有这样才能避免将来因产品的不可靠而引起用户的不满。

4. 使用条件

为了使一件产品在现场工作良好,必须在产品的设计过程中考虑到在其使用条件下所能完成的预定功能,使用条件表征了用户在实际中如何使用该产品。通常设计人员难以准确地掌握产品的使用信息,这可能会导致在产品的设计过程中出现设计项目不足或设计项目过度的情况。在这方面,鲁棒设计方法通常用来指导

那些性能对环境因素组合不敏感的产品的的设计。在产品设计中需要考虑的影响产品性能的因素包括：①环境因素，如温度、湿度、大气污染、盐碱度等；②负载、振动和其他影响产品性能随时间变化的物理应力（考虑多应力综合是非常重要的）；③引起裂纹的表面接触和其他导致材料性质和产品表面几何特征随时间变化的因素；④产品原材料成分、几何属性、工艺设置和工艺性能方面的差异；⑤产品成形、切割、热处理及组装过程中在产品内部集中的残余应力；⑥机加工副产品造成的污染；⑦软性材料的爬行和应力松弛现象；⑧其他可能会引起早期疲劳和磨损的因素。

5. 用户需求

一件产品的性能最终是由用户来决定是否可接受，而评估产品可靠性的三项既定标准：①预定功能；②规定生命期；③规定的使用条件。因此，设计的产品必须根据用户使用产品的方法、时间及在使用产品过程中用户经历的事件来逐一评估。在目前全球竞争市场上，产品的可靠性是制造商在市场中立于不败之地的重要保证。一方面，如果用户使用了一件不存在可靠性问题的产品，会提高用户的满意程度，并会吸引和开拓产品新的市场；另一方面，产品的低可靠性会引发行用户满意程度及对产品钟爱程度的降低，最终对制造商造成负面的影响。

因此，产品的设计团队对用户需求的准确理解显得非常重要。质量功能展开（Quality Function Deployment, QFD）在保证用户需求被正确地把握、产品性能和可靠性需求切实展开方面具有较大价值。QFD 是 1972 年日本三菱重工科比船厂工程师 Y. Akao 在总结自己工作的基础上提出的。20 世纪 70 年代，丰田公司首先将 QFD 成功地应用于汽车防锈锈研究中；随后由迪尔伯恩 Dearborn、MI、GOAL/QPC 组成的美国供应商联合会（ASI）也采用了该方法。

如图 1-1 所示，QFD 首先创建了一个产品设计计划矩阵，该矩阵将用户的需求描述为典型的产品质量特征或产品设计需求特征；随后，使用其他的 QFD 矩阵展开这些产品质量特征为最终的形式。这些最终的形式包括设计验证试验。图 1-1 显示了用 QFD 如何将用户的需求展开并贯穿到产品设计过程始终，即从最初顶层设计需求合成，到详细的部件或功能需求的产生，再到主要应力的影响分析，以及它们对设计的影响及随后可能要求的可靠性验证试验（详见 king, 1989 和 Vanooy, 2989）。

1.1.2 什么是故障

由于可靠性研究的是给定对象：部件、子系统、系统或其他随时间变化过程中完成其预定功能的概率，因此，在分析给定对象的可靠性之前，必须搞清楚什么是产品的预定功能及产品在什么时间发生故障。当产品中的一个或多个预定功能无法继续满足用户需要时，可以被认为是发生了一次故障。