



国际机械工程先进技术译丛

产品可靠性、 维修性及保障性 手册

(原书第2版)

**Product Reliability ,
Maintainability , and Supportability
Handbook Second Edition**

(美) Michael Pecht 著
王军锋 陈云斌 周宪 等译

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际机械工程先进技术译丛

产品可靠性、维修性及 保障性手册

(原书第2版)

Product Reliability, Maintainability, and Supportability Handbook
(Second Edition)

(美) Michael Pecht 著
王军锋 陈云斌 周 宪 等译
周锦欣 唐璐敏 审校



机械工业出版社

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，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，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就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、农业以及化学、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个方面的领域：

- 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，国际间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,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,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,唐玄奘去印度取经可以说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《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储存手段,但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性,看书总比在计算机上看资料要方便习惯,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,同时它具有比较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,翻译的质量也是个关键问题,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作出贡献,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《国际机械工程先进技术译丛》。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 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性,应能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,例如机械、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、制造工艺等技术。

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,高等院校的教师和学生,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《国际机械工程先进技术译丛》的专家学者，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，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，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

本套丛书希望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

序 言

企业必须在产品开发过程中实施一些措施，以确保产品的可靠性。这些措施会通过零部件（材料）选择、产品设计、制造、装配、运输、装卸、运行、维护和修理等过程影响可靠性。本书将介绍以下内容：

1) 根据目标生命周期应用条件和预期产品性能等因素，制定切实可行的产品可靠性要求。产品的可靠性要求必须考虑客户需求，以及制造商满足这些需求的能力。

2) 通过评估相关制造、装配、存储、装卸、运输、运行和维修条件定义产品生命周期条件。

3) 确保供应链的参与者有能力提供符合要求的零部件（材料），并能提供满足最终可靠性目标所需的服务。

4) 选择有质量保证的零部件（材料），这些零部件要能在应用中实现预期性能和可靠性的要求。

5) 确定可能失效产品的潜在失效模式、失效位置及失效机理。

6) 设计工艺能力（也就是制造和装配中可控制的质量级别），并考虑潜在失效模式、失效位置，以及从失效的物理学分析和生命周期轮廓中获取的失效机理。

7) 赋予产品合格的质量，以在预期生命周期条件下验证其可靠性。质量检测包括的活动要能保证标称设计和制造规范将满足或超过可靠性目标。

8) 确定所有制造和装配过程生产的产品是否在设计所要求的统计过程窗内。材料特性和制造工艺的变异将影响产品的可靠性。因此，整个过程必须是经过鉴定、可度量以及可监控的。

9) 利用闭合循环式的监测来管理生命周期中产品的使用。

第1章：产品效能与价值。此章给出了产品效能的定义，并讨论了产品效能及相关函数（可用性、可信性和能力）之间的关系，最后还讨论了责任分配和产品价值。

第2章：与可靠性相关的概念。此章阐述了可靠性的数学理论基础，主要内容是可靠性和不可靠性函数、概率密度函数、故障率、条件可靠性函数和关键失效时间。

第3章：统计推论概念。此章引入统计推论概念，用它们来分析从观测数据得到的概率模型，主要讨论了统计估计、假设检验的基本类型和可靠性回归模型拟合。

第4章：产品可靠性分析的实用概率分布。此章引入了两种基本概率分布类型：离散和连续概率分布，讨论了在产品可靠性建模和故障率估计中常用的两种离散分布（二项分布和 Poisson 分布）和四种连续型分布（Weibull 分布、指数分布、正态分布、对数正态分布）。

第5章：置信区间。此章给出了置信区间的概念，讨论了它和容差、样本大小以及置信水平的关系，并提供了计算估计置信区间的实例。

第6章：硬件可靠性。本章通过失效模型和相关案例，主要讨论可靠性评估，以及相关的用于工程硬件的试验技术。以微电子封装中焊接连接为例，阐述了失效物理的概率方法在可靠性预测和建模过程中的应用。

第7章：软件可靠性。本章给出了软件、软件可靠性、软件质量和软件安全的定义，还讨论了用以改进并评估软件可靠性的软件开发模型和技术。

第8章：失效模式、机理及影响分析。对于可靠性产品的开发过程来说，导致产品失效的失效机理知识是实现合理设计、开发可靠性产品的关键。本章提出了一个称为失效模式、机理及影响分析（FMMEA）的新方法，用以确定潜在失效机理以及潜在失效模式的失效模型，并将失效机理进行优先度排序。FMMEA提升了失效模型及影响分析（FMEA）的价值，失效模式、影响及危害性分析（FMECA）通过确定“高优先度失效机理”帮助相关人员制定策略，以减轻失效影响。在FMMEA中发现的失效机理原因和影响，有助于提升产品开发的效率和经济效益。

第9章：可靠性设计。要让产品达到可靠性目标，有一些步骤是必不可少的。本章大致介绍了产品需求和约束、产品生命周期条件、零件选择和管理、失效模式、失效机理、失效影响分析、设计技术、质量检测、制造和装配以及闭合循环监测等方面的内容。

第10章：系统可靠性建模。本章介绍了如何把来自于零部件和子系统的可靠性信息结合到系统的可靠性计算中。可靠性框图可用于表达系统逻辑结构，并为系统开发可靠性模型。同时，本章还介绍了用于系统可靠性建模的故障树分析。

第11章：冗余和容错产品的可靠性分析。设计有容错能力产品的目的在于让产品在某些零部件失效的情况下持续正常运行。本章介绍了用户在各种容错条件下评估可靠性的方法。

第12章：可维修产品的可靠性模型和数据分析。可维修产品通常会出现磨损，本章介绍了用于可维修产品（特别是非电子产品）失效的建模和分析方法，提供了描述可维修产品可靠性行为的分析背景和数据分析技术。

第13章：持续的可靠性改进。可靠性改进技术可应用于：通过了主要硬件和软件设计审查的新产品；制造商想让其更具竞争力的已开发产品；没有满足客户对可靠性表现需求的已有产品。本章讨论了持续改进项目的可靠性增长、加速测试和管理的原则。

第14章：后勤保障。应用到产品的综合后勤保障构成了维修和保障的生命周期方法。本章讨论了可靠性对于后勤保障需求的影响，着重阐述了产品、装备或组件的可靠性是如何影响备用或维修零件、保障设备和维修人员的。

第15章：产品效能和成本分析。本章阐述了如何把可靠性、维修性数据与产品性能结合起来，最终评价总体产品效能；如何引入成本概念，为设计决策提供更完整的支持。

第16章：工艺能力与过程控制。质量是衡量产品满足制造商工艺标准要求程度的量度。本章介绍了加工能力的概念和过程控制的基本统计技术。通过一些实例，介绍了平均抽检质量、加工能力、缺陷计算和统计过程控制的概念。

译者序

企业在产品的整个生命周期中，所实施的策略和所展开的活动会直接影响到产品的可靠性。高度可靠的产品能防止故障和事故，尤其是避免灾难性的事故发生；其生命周期费用较低，停机时间少，利用率高；进而能够提高企业信誉，增强竞争力，扩大市场份额，增加经济效益。如何提高产品的可靠性已经成为现代企业发展不可避免的问题。

可靠性是产品实现其既定功能的必要前提，但完全可靠的产品是不存在的。产品在其使用寿命内，肯定会因各种各样的问题而发生失效，出现故障。产品的维修以及平时的例行维护的难易程度和所要付出的代价会因制造工艺、产品结构、运行环境等因素而有所差异，这也就是产品的维修性。良好的后勤保障能为维修和维护提供充足的检测设备、产品备件和维修设备等，使得产品更易于维修和维护。这些正是本书所要阐述的内容。

《产品可靠性、维修性及保障性手册》的第1版出版于1995年。时隔15年之后，科学技术的发展为我们带来了更多、更新的产品，同时也带来了产品可靠性、维修性和保障性方面的新问题。原书的编者和各章节的作者根据他们在此期间的研究成果，共同出版了该书的第2版。除了第1版中涵盖的可靠性分析的数学理论基础、软件和硬件的可靠性分析、可靠性增长过程、加速寿命试验等内容之外，此版本新增加的内容包括：失效模式、机理和影响分析（FMMEA）；可靠性指标的置信区间及其与产品质量保证措施之间的关系；过程控制和过程能力，以及它们与产品可靠性的关系；冗余系统的可靠性。

本书的主编是 Michael Pecht，他不仅是 IEEE 的资深会士（IEEE Fellow），还是 ASME 和 IMAPS 的会士。他曾获得 IEEE 可靠性协会终生成就奖、欧洲微纳米可靠性奖、3M 研究奖、William D. Ashman 成就纪念奖。同时，他还曾兼任 *IEEE Transactions on Reliability* 期刊的主编和 *IEEE Spectrum* 期刊的专家顾问，现分别任国际期刊 *Microelectronics Reliability* 和 *IEEE Transactions on Components and Packaging Technology* 的主编和副主编。Pecht 编著了诸如 *Handbook of Electronic Package Design*、*Handbook of Electronic Package Design* 和 *Parts Selection and Management* 等关于电子产品开发、使用和供应链管理等方面的书籍 20 余本，发表学术论文 400 余篇。

本书各章节的作者大多是在国防、军事等国家部门的可靠性领域从业多年的工程技术人员。例如 Harold S. Balaban 任职于美国国防分析研究所，Criscimagna 咨询有限公司的总裁 Ned Criscimagna 是可靠性咨询业务的资深专家，中国深圳微软亚洲硬件研发中心主管 Jun Ming Hu 致力于提高企业产品的可靠性。此外，还有多年从事可靠性研究的研究人员，如马里兰大学工程研究中心可靠性项目主管 David Weiss

和 ARINC 研究公司的首席工程师 Robert M. Hecht 等。他们都已在产品可靠性、维修性和保障性的工程应用和研究方面取得了显著成就，本书正是他们多年研究和实践成果的汇总。

因此，本书可谓是可靠性、维修性和保障性技术领域的权威指南。正是由于本书主编和作者丰富的从业经验和研究经历，才使得本书成为一本可靠性方面的优秀畅销书籍，一本对于可靠性工程人员和学习相关知识和技术的人们来说不可缺少的手册。感谢本书的主编 Michael Pecht 教授和各章节的作者们，正是他们的不懈努力和无私奉献，我们才能看到这本巨著。

本书翻译和审校工作的大致分工如下：西南科技大学的王军锋翻译了第 1、2、5~10 章，并负责全书的统稿工作；西安工业大学的周宪翻译了第 11、12 章；通用电气中国研发中心的陈云斌翻译了第 13、15、16 章；西北工业大学的石真真翻译了第 3、4 章；西北工业大学的王宁翻译了第 14 章。锐德世系统设备有限公司的高级质量和可靠性工程师唐璐敏审阅了本书的初稿，西北工业大学的闫锋欣完成了各章的主审和全书的终审工作。其他参与本书部分翻译工作的人员还有：苏力争、杨振朝、张莹、曹少飞、戚彬、陈伟鸿、谭邦建、饶锦锋、张延超、王淑侠、王振军、顾婷、李妙玲、徐景辉、戴高明和周杰。

感谢机械工业出版社的编辑们，正是他们的辛苦工作才使本书的中文版得以问世；感谢中国可靠性论坛（www.kekaoxing.com/club/）的版主 Fanweipin 和 Cliffcrag，正是他们促成了本书的译者团队，也感谢该论坛所提供的大量参考资料；感谢戚彬、王淼、刘晓霞和韩卫荣为我分担了不少日常工作，使我能够潜心于本书的翻译工作；感谢我的妻子郭偃和女儿王若水，她们是我努力工作的动力源泉；最后，感谢所有为本书的翻译出版工作提供了帮助的人们！

在翻译的过程中，译者已及时对原书中出现的些许印刷错误做了订正，在此不再一一指出。

鉴于译者的英文理解能力和中文表达能力有限，译文难免出现错误和纰漏，希望领域内的各位同行和专家予以批评指正。

衷心地希望本书能对您的工作和学习有所帮助。

王军锋

主 编 介 绍

Michael Pecht 是香港城市大学电子工程系的客座教授，电子工程硕士，美国威斯康星大学麦迪逊分校机械工程的硕士和博士。现为专业工程师、IEEE 会士 (IEEE Fellow)、ASME 会士 (ASME Fellow) 和 IMAPS 会士 (IMAPS Fellow)。2008 年，获得可靠性领域的最高奖项——IEEE 可靠性协会终生成就奖。曾任 *IEEE Transactions on Reliability* 主编八年，*IEEE Spectrum* 咨询顾问。现为 *Microelectronics Reliability* 的主编，*IEEE Transactions on Components and Packaging Technology* 副主编。美国马里兰大学学院园分校高级生命周期工程研究中心 (Center for Advanced Life Cycle Engineering, CALCE) 创始人；机械工程系 George Dieter 首席教授、应用数学系教授。已编写关于电子产品开发、使用和供应链管理等方面的书籍 20 余本，发表学术论文 400 余篇。在过去的十年中，他领导的科研小组一直致力于可靠性诊断的研究。他们已经为 100 多家生产电子产品的跨国企业提供了咨询，为这些企业的电子产品和系统的策略制定、设计、试验、诊断分析、知识产权、风险评估等方面提供了专家意见和技术支持。因对可靠性研究的杰出贡献，获得欧洲微纳米可靠性奖；因对电子封装的研究，获 3M 研究奖；因对电子产品可靠性分析的贡献，获 IMAP (国际微电子和包装协会) William D. Ashman 成就纪念奖。

各章节作者介绍

Harold S. Balaban，在美国国防部和其他政府机构工作 40 余年，主要负责开发武器系统模型，并以此来实现成本和效能的分析。现受雇于美国国防分析研究所 (IDA)。在此，他将可靠性和维修性概念引入到武器系统生命周期成本和效能的建模中，并开发出了一系列模型和成本估算关系，使得这些工作更为高效、精确。典型的案例有：关于维护人力资源估计的 IDA IMEASURE 项目；运输机任务能力比率模拟原型；为估计仓储水平的可补偿性和消耗成本而建立的 IDA CER 模型。在就职于 IDA 之前，他在 ARINC 研究公司工作，最后的职位是主管、高级分析师。他负责开发和应用分析模拟模型，并用分析模拟模型来研究军事系统的成本、效能、可靠性、维修性和可用性。他所领导的小组开发的“系统可测试性和维修性程序”获得了巨大成功，此程序用以改进军事系统的组织诊断技术，是同类软件的先行者。**Balaban** 博士还是一名把长期质量保证和后勤控制引入到军事系统采办的主要贡献者。他撰写并出版了大量关于可靠性和维修性的论文，参与过三部书籍的撰写工作，在乔治华盛顿大学、马里兰大学教授关于可靠性理论和运筹学的研究生课程。在乔治华盛顿大学获得了数理统计博士学位。他参与了本书第 1 章、第 12 章和第 15 章的撰写工作。

Ned Criscimagna，是 **Criscimagna** 咨询有限公司的创始人、总裁。他为工业和政府机构提供培训、项目评估和与可靠性相关的咨询服务。在创立自己的公司之前，**Criscimagna** 在 **Alion** 科学技术公司（前伊利诺伊理工学院研究所）就职，职位是高级科学顾问，此外还担任过 5 年的可靠性分析中心 (RAC) 主任等职。在 1994 年加入伊利诺伊理工学院研究所之前，他在 **ARINC** 研究公司任过多个职位。在创办私人公司之前，他曾在空军的工程、维修和其他部门任高级职员 20 年。在作为空军和空军司令部职员时，他帮助制定并实施了关于可靠性、维修性、质量和系统采办方面的政策方针。曾作为空军修理和维修“2000 人研究小组 (English)”的成员，为国防部总体质量管理方法最初的建立做出了贡献。美国质量保证、汽车工程师协会会员，物流工程师协会高级会员。在内布拉斯加大学林肯校区获机械工程领域理学学士学位，在空军技术研究所获系统工程——可靠性工程硕士学位。他参与了本书第 1 章的撰写工作。

Diganta Das，马里兰大学学院园分校机械工程博士，印度理工学院制造科学与工程专业技术学士，高级生命周期工程研究中心研究员。他所专长的研究领域包括电子零部件可靠性、环境和运行评级；电子零部件性能提升、再加工以及相关技术发展趋势；零部件选择和管理方法等。为零部件选择和管理，以及可靠性实践活动

实施了标杆管理和电子企业组织模式。他还在设计改进方面协助过一些企业组织。在以上领域发表过 50 余篇学术论文, 在相关国际会议和研讨会上介绍过自己的研究工作。曾作为两项 IEEE 标准的技术编辑, 现正协助制定另外两项标准; *Microelectronics Reliability* 和 *International Journal for Performability Engineering* 的编委会委员; 六西格玛黑带大师; IEEE 和 IMAPS 会员。他参与了本书第 2、4、5、9 和 16 章的撰写工作。

Abhijit Dasgupta, 马里兰大学 CALCE 电子封装研究所教师兼研究员。伊利诺伊大学机械理论和应用专业博士, 研究领域为非均匀材料及其结构的构成和损伤行为的微观力学建模, 主要研究方向为疲劳和蠕性疲劳的相互作用。其他研究内容还包括综合热力载荷下的相关应力分析, 失效物理模型的设计构思, 为验证测试、可靠电子封装的筛选和降格使用提供指南。他参与了本书第 6 章的撰写工作。

Joanne Bechta Dugan, 1980 年获费城拉萨尔大学数学与计算机科学文学学士, 1982 年、1984 年分别在北卡罗来纳州达勒姆杜克大学获电子工程硕士、博士学位。Dugan 博士现在是杜克大学电子工程系副教授, 三角研究园区 (Research Triangle Institute) 访问科学家。她主要研究具备硬件和软件故障容错能力计算机系统分析技术的开发和应用。她感兴趣的领域有: 硬件和软件可靠性工程, 容错计算, 利用动态故障树、Markov 模型、Petri 网和仿真技术进行数学建模等。她是 IEEE 的高级会员, 计算机协会会员, Eta Kappa Nu (美国电气和计算机工程荣誉协会) 和 Phi Beta Kappa (美国大学优等生荣誉协会) 会员。她参与了本书第 11 章的撰写工作。

Robert M. Hecht, ARINC 研究公司的首席工程师。他的专业领域为特殊设备的可靠性评估、维修性和可测试性问题, 产品改进项目的规划和管理。他参与了多个武器系统开发项目, 包括 P-3C、E-2C、bA-6E、EA-6B、ES-3、GUARDRAIL、QUICK FIX、EF-111A 和 M1 Abrams 主战坦克。在电子产品、机电产品和纯机械系统为可靠性而设计方面具有丰富的经验。在加入 ARINC 之前, 他是贝尔航空航天公司新奥尔良子公司的可靠性工程师。在那里, 他对美国海军表面效应船和气垫船项目进行了可靠性分析, 在美国军方的帮助下, 他管理了普通军用设备的可靠性和维修性验证测试工作。他是宾夕法尼亚州立大学航空工程理学学士, 新奥尔良大学工程理学硕士, 经 ASQC (美国质量管理协会) 认证的可靠性工程师。他参与了本书第 14 章的撰写工作。

Jun Ming Hu, 中国深圳微软亚洲硬件研发中心 (MACH) 主管, MACH 小组主要负责微软硬件产品的设计、工程、检测和制造, 包括鼠标、键盘、摄像头、Xbox 控制器、游戏文本输入装置、Zune 音乐播放器的附件和销往世界各地的其他硬件产品, 还为 Xbox 控制器的制造、测试、零部件生产和质量检测提供支持。MACH 小组管理着中国众多的设计和制造业合作伙伴。2000 年, Hu 博士在雷德蒙加入了微软, 身份是硬件可靠性工程师主管和零部件工程师主管。2004 年, 他回到深圳建立了 MACH 机构。在加入微软前, 他在密歇根的福特汽车公司工作了 8 年, 其职位是高级技术专

家，计算机辅助汽车电子产品设计的工程主管。1982年和1985年，他在上海交通大学分别获得理学学士和理学硕士学位；1989年，在马里兰大学获博士学位。在美国和其他国家，Hu博士注册了14余项关于电子产品和质量管理方法的专利。在1993—1998年期间，他是*IEEE Transactions on Reliability*副主编，*Journal of the Institute of Environmental Sciences* 1993—1998年的编委会委员，亚裔美国人企业成就奖获得者，两项亨利·福特技术奖获得者。他参与了本书第3章和第6章的撰写工作。

Mark Kaminskiy，马里兰大学学院园分校技术和系统管理中心的首席统计员。他是可靠性统计和概率、寿命数据分析、工程系统风险分析等方面的研究者和咨询师。他的研究和咨询项目受到诸多政府机构和工业企业的资助，如美国交通部、海岸警卫队、陆军工程团、海军、核能管理委员会、美国机械工程师协会、福特汽车、高通公司以及其他工程企业。他单独撰写或作为参与者撰写了100余篇期刊、会刊论文、报告和书籍，主要包括*Modeling Population Dynamics for Homeland Security Applications*；与B. Ayyub合著，由J. G. Voeller主编的*Wiley Handbook of Science and Technology for Homeland Security* (John Wiley & Sons, 2008)；与M. Modarres、V. Krivtsov合著了*Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide* (Marcel Dekker, 1999, 2009)；*Statistical Reliability Engineering* (John Wiley & Sons, 1999)中“加速测试(参见本书第5章)”的相关章节；IEEE大百科全书的*Statistical Analysis of Reliability Data* (John Wiley & Sons, vol. 20, 1999)等。他是圣彼得堡理工大学(俄罗斯)的核物理学硕士，圣彼得堡电气工业大学(俄罗斯)电机工程博士，参与了本书第3章的撰写工作。

Richard Kowalski，在ARINC工作27年后，他于2002年退休，最后的职位是产品保障部门主管。他主要负责和硬件、软件质量项目相关政策的制定和执行。受过软件能力评价培训(SEC)，在几个美国和欧洲公司，还有ARINC中，他利用卡内基梅隆软件工程研究所开发的能力成熟模型和集成模型开展了一些软件能力评估(SCE)工作。Kowalski是西格玛西(Sigma Xi)会员；电气与电子工程师学会(IEEE)的终身高级会员。在IEEE可靠性协会的管理委员会任职超过20年；曾是*IEEE Transactions on Reliability*的编辑，他在美国东北大学数学专业获理学学士学位；凯西工程学院数学专业硕士和博士学位。他参与了本书第7章的撰写工作。

Sony Mathew，马里兰大学学院园分校机械工程学院，高级生命周期研究中心助理研究员，正在攻读马里兰大学A. James Clark工程学院的机械工程博士学位。研究领域为可靠性研究、锡须(tin whisker)、电子产品的诊断和健康管理。2005年5月，他在马里兰大学获机械工程专业理学硕士学位。曾在1997年获机械工程专业理学学士学位；1999年获印度普纳大学MBA学位。他参与了本书第8章的撰写工作。

Carol Smidts，马里兰大学学院园分校，可靠性项目下材料和核工程学院的教授助理，1986年，她在比利时布鲁塞尔大学获物理工程专业理学硕士学位，1991年，在

此校同专业领域获博士学位。她的主要研究方向为：动态系统可靠性、MARKOV 分析和人类可靠性。最近正在研究软件的可靠性。她参与了本书第7章的撰写工作。

Walter Tomczykowski, ARINC 公司产品生命周期管理和运行保障部门的主管, 向高级系统部的副主席汇报工作。他在马里兰大学获得了可靠性工程专业理学硕士学位; 在波士顿东北大学获电子工程专业理学学士学位。过去的25年里, 通过一些服务机构和许多联邦机构, 如国土安全部、财政部等, 他领导的专业小组参与了国防部秘书办公室、国防后勤局、国防部 (DoD) 在可靠性、维修性、生命周期成本、人因工程、杜绝伪造、废弃管理等方面的相关项目。作为产品生命周期管理和运行保障部的主管, Tomczykowski 主要为波士顿、安纳波利斯 (包括 Patuxent 河)、马里兰、代顿、俄亥俄州、圣安东尼奥、德克萨斯州、俄克拉荷马市、巴拿马市、佛罗里达等城市的私人机构提供相关服务。他是 *DMSMS Cost Factors*、*DMSMS Program Manager's Handbook* 和 *DMSMS Acquisition Guidelines* 的主要作者。经常以主要演讲人的身份受邀参加飞机老化、DMSMS 以及其他废弃管理相关的会议, 以分享他在可靠性、生命周期成本和废弃管理等方面的知识。他关于可靠性的研究工作还被 *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering* 收录。参与了本书第13章的撰写工作。

Igor A. Ushakov, 在莫斯科物理技术研究所任教大约15年。1989年, 受邀作为乔治华盛顿大学的杰出访问教授。后来, 他在乔治梅森大学和圣迭戈的加利福尼亚大学任教。他同时还在美国一些著名的公司工作, 如 MCI 公司、高通公司、休斯网络系统公司、Mantech 公司。在大型远距离通信系统、数学和通信系统计算建模的可靠性与效能分析方面, 他有着丰富的经验。他还是许多国际会议 (举行地包括美国、俄罗斯、乌克兰、加拿大、日本、英国、法国、意大利、德国、挪威、波兰、匈牙利和保加利亚) 的主席。他撰写了大约300篇关于产品运行研究、可靠性工程和理论、网络通信模型的论文, 均在国际著名的数学与工程杂志上发表, Ushakov 教授用俄语、英语、德语和保加利亚语撰写了大约30本著作, 其中有三本在美国出版。他的著作包括: *Histories of Scientific Insights* (Lulu, Morrisville, North Carolina, 2007)、*Course on Reliability Theory* (Drofa, Moscow, 2007)、*Statistical Reliability Engineering* (John Wiley & Sons, New York, 1999)、*Probabilistic Reliability Engineering* (John Wiley & Sons, New York, 1995) 和 *Handbook of Reliability Engineering* (John Wiley & Sons, New York, 1994)。他是西格玛西 (Sigma Xi)、加州州立大学 Omega Rho 组织、工程荣誉学会 (Tau Beta Pi) 的会员, 国际非正式概率和统计学者组织 Gnedenko 论坛的创始人。他参与了本书第3章的撰写工作。

David Weiss, 可靠性和系统分析领域的顾问。在马里兰大学, 任工程研究中心可靠性项目主管10年, 与其他教师一起建立了可靠性工程方面的研究生项目。在加入马里兰大学之前, 他是通用电气公司的产品可靠性主管, Booz Allen Hamilton 咨询公司的合伙人。他参与了本书第15章的撰写工作。

目 录

译丛序言

序言

译者序

主编介绍

各章节作者介绍

第 1 章 产品效能与价值	1
1.1 引言	1
1.2 影响效能的产品特征	1
1.3 影响产品效能的计划因素	3
1.3.1 产品效能	4
1.3.2 运行准备状态和可用性	5
1.3.3 可信性	6
1.3.4 产品能力	6
1.3.5 可靠性	7
1.3.6 维修性	8
1.3.7 时间元素之间的关系	10
1.4 任务目标分解	11
1.4.1 行政管理时间	12
1.4.2 后勤支持时间	12
1.4.3 维修实施时间和运行时间	12
第 2 章 与可靠性相关的概念	15
2.1 引言	15
2.2 可靠度	15
2.3 概率密度函数	18
2.4 故障率	19
2.5 条件可靠性	21
2.6 失效时间	21
练习	22
第 3 章 统计推论概念	24
3.1 引言	24

XVI 产品可靠性、维修性及保障性手册 (原书第2版)

3.2	统计估计	24
3.2.1	点估计	24
3.2.2	区间估计	27
3.3	假设检验	27
3.3.1	频率直方图	28
3.3.2	适合度检验	29
3.4	可靠性回归模型的拟合	34
3.4.1	Gauss-Markov 理论和线性回归	34
3.4.2	比例风险 (PH) 模型和加速寿命 (AL) 模型	38

5.6	总体比例置信区间	71
5.7	总结	71
	参考文献	72
第6章	硬件可靠性	73
6.1	引言	73
6.2	失效机理和损伤模型	75
6.2.1	异常的机械性能	76
6.2.2	异常的热学性能	77
6.2.3	异常的电学性能	77
6.2.4	屈服	78
6.2.5	扭曲	79
6.2.6	断裂	79
6.2.7	接触面脱离粘连	80
6.2.8	疲劳	81
6.2.9	蠕变	83
6.2.10	磨损	83
6.2.11	相互扩散引起的老化	84
6.2.12	离子辐射引起的老化	84
6.2.13	其他老化现象	85
6.2.14	腐蚀	85
6.2.15	金属迁移	86
6.3	载荷、应力和材料行为	86
6.4	变异性与可靠性	87
6.5	可靠性预测技术	88
6.6	案例研究：微电子封装中的丝焊组装	90
6.6.1	失效机理和应力分析	90
6.6.2	变异性和可靠性的随机建模	93
6.6.3	疲劳寿命和可靠性预测	96
6.7	鉴定试验和加速试验	98
6.8	降额和后勤决策	100
6.9	制造问题	101
6.9.1	工艺鉴定	101
6.9.2	工艺性、工艺变化和缺陷、产出	101
6.9.3	工艺验证试验和统计过程控制	103
6.10	总结	104
	参考文献	105
第7章	软件可靠性	106
7.1	引言	106