



装备科技译著出版基金

可靠性维修性保障性
学术专著译丛

丛书主编 康锐

产品可靠性 规范与性能

Product Reliability:
Specification and Performance

【澳】D. N. Prabhakar Murthy

【挪威】Marvin Rausand

TrondØsterås

著

冯静 程龙

主译

孙权

主审



Springer



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

可靠性维修性保障性学术

产品可靠性规范与性能

Product Reliability: Specification and Performance

[澳] D. N. Prabhakar Murthy,

[挪威] Marvin Rausand, Trond Østerås 著

冯 静 程 龙 主译

孙 权 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-2013-133 号

图书在版编目(CIP)数据

产品可靠性规范与性能 / (澳)默西(Murthy, D. N. P.), (挪)劳沙德(Rausand, M.), (挪)特隆德著;冯静,程龙主译. —北京:国防工业出版社, 2014. 12

(可靠性维修性保障性学术专著译丛)

书名原文: Product reliability specification and performance

ISBN 978-7-118-09865-5

I. ①产... II. ①默... ②劳... ③特... ④冯... ⑤程... III. ①工业产品—可靠性—研究 IV. ①TB114.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 014625 号

Translation from English language edition:

Product Reliability

by D. N. Prabhakar Murthy, Marvin Rausand and Trond Østerås Copyright © 2008 Springer London

Springer London is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 15 1/4 字数 285 千字

2014 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

《可靠性维修性保障性学术专著译丛》

编 审 委 员 会

主任委员

康 锐 教授 北京航空航天大学

副主任委员

屠庆慈 教授 北京航空航天大学

王文彬 教授 北京科技大学

委员(按姓氏笔画排序)

于永利(军械工程学院)

王文彬(北京科技大学)

左明健(电子科技大学)

田玉斌(北京理工大学)

李大庆(北京航空航天大学)

邹 云(南京理工大学)

张卫方(北京航空航天大学)

陈 循(国防科技大学)

陈云霞(北京航空航天大学)

金家善(海军工程大学)

赵 宇(北京航空航天大学)

康 锐(北京航空航天大学)

曾声奎(北京航空航天大学)

王少萍(北京航空航天大学)

王自力(北京航空航天大学)

左洪福(南京航空航天大学)

孙 权(国防科技大学)

何宇廷(空军工程大学)

宋笔锋(西北工业大学)

陆民燕(北京航空航天大学)

陈卫东(哈尔滨工程大学)

苗 强(四川大学)

单志伟(装甲兵工程学院)

郭霖瀚(北京航空航天大学)

屠庆慈(北京航空航天大学)

翟国富(哈尔滨工业大学)

《可靠性维修性保障性学术专著译丛》

总 序

可靠性理论自 20 世纪 50 年代发源以来,得到了世界各地研究者的广泛关注,并在众多行业内得到了成功的应用。然而,随着工程系统复杂程度的不断增加,可靠性理论与方法也受到了日益严峻的挑战。近年来,许多国际知名学者对相关问题进行了深入研究,取得了一系列显著的成果,极大地丰富和充实了可靠性理论与方法。2012 年,国际知名出版社 Springer 出版了一套“可靠性工程丛书”,共计 61 种,总结了近年来可靠性维修性保障性相关领域内取得的绝大部分研究成果,具有很强的系统性、很高的理论与实用价值。

经过国内最近 30 年的普及和发展,可靠性的重要性已经得到业界的普遍认可,即使在民用领域,可靠性的研究与应用也发展迅猛。他山之石,可以攻玉,系统地了解国际上可靠性相关领域近年来的最新研究成果,对于国内的可靠性研究者与实践者们都会大有裨益。为此,国防工业出版社邀请北京航空航天大学可靠性与系统工程学院以 Springer 出版的可靠性工程丛书中的 10 种,外加 Wiley、World Scientific、Cambridge、CRC、Prentice Hall 出版机构各一种,共 15 种专著,策划组织了《可靠性维修性保障性学术专著译丛》的翻译出版工作。我具体承担了这套丛书的翻译组织工作。我们挑选这 15 种专著的基本原则是原著内容是当前国内学术界缺乏的或工业界急需的,主题涵盖了相关领域的科研前沿、热点问题以及最新研究成果,丛书中各专著原作者均为相关领域国际知名的专家、学者。

组织如此规模的学术专著翻译出版工作,我们是没有现成经验的。为了保证翻译质量和进度,在组织翻译这套丛书的过程中,我们做了以下几方面的工作:一是认真遴选主译者。我们邀请了国内高校可靠性工

程专业方向的在校博士生作为主译者,这些既有专业知识又有工作激情的青年学者对翻译工作的投入是保证质量与进度的第一道屏障。二是真诚邀请主审专家。我们邀请的主审专家要么是这些博士生的导师,要么是这些博士生的科研合作者,他们均是国内可靠性领域的知名专家,他们对可靠性专业知识把握的深度和广度是保证质量与进度的第二道屏障。三是建立编审委员会加强过程指导。我们邀请了国内知名专家与主审专家一起共同组成了丛书编审委员会,从丛书选择、翻译指导、主审主译等多个方面开展了细致的工作,同时为了及时沟通信息、交流经验,我们还定期编辑丛书翻译工作简报,在主译者、主审者和编审委员中印发。可以说经过以上工作,我们坚信这批专著的翻译质量是有保证的。

本套丛书适合于从事可靠性维修性保障性相关研究的学者和在校博士、硕士研究生借鉴与学习,也可供工程技术人员在具体的工程实践中参考。我们相信,本套丛书的出版能够对国内可靠性系统工程的发展起到推动作用。

北京航空航天大学可靠性与系统工程学院

康 锐

2013 年 11 月 8 日

PREFACE

Today's modern systems have become increasingly complex to design and build, while the demand for reliability and cost effective development continues. Thus, reliability has become one of the most important attributes in these systems. Growing international competition has increased the need for all designers, managers, practitioners, scientists and engineers to ensure a level of reliability of their product before release at the lowest cost. This is the reason why interests in reliability have been continually growing in recent years and I believe this trend will continue during the next decade and beyond.

It is these growing interests from both industries and academia that motivate Springer to publish the Springer Series in Reliability Engineering, for which I serve as the series editor. This series consists of books, monographs and edited volumes in important subjects of current theoretical research development in reliability and in areas that attempt to bridge the gap between theory and application in fields of interest to practitioners in industry, laboratories, business and government.

I am very delighted to learn that the National Defense Industry Press from China is planning to translate selected books from the Springer Series as well as some other distinguished monographs from other presses into Chinese. The books in the collections to be translated cover most of the timely and important topics in reliability research areas and are of great values for both theoretical researchers and engineering practitioners.

The translations are organized and managed by Professor Rui Kang from Beihang University, who is a world-wide leading expert in reliability related areas. With his expertise and dedication, the quality of the translations is guaranteed. I'm sure that the translations of these outstanding books will be a great impetus to the research and application of reliability engineering in China.

Personally, I will treat the translation collection as an attempt to exchange ideas of reliability researchers in the international community with their Chinese counterparts. I really hope that these kinds of idea interchanges will be more common and frequently in the future. Specifically, I am really looking forward to hearing more from our Chinese colleagues. Wish the research and application of reliability in China a bright future!

Hoang Pham

Dr. Hoang Pham, IEEE Fellow

Distinguished Professor

Rutgers University

Series Editor, Springer Series in Reliability Engineering

序

不断发展的科技和日趋激烈的市场竞争对产品提出了日趋强烈的可靠性需求,希望能够以尽可能低的成本高效保证产品可靠性。可靠性业已成为现代工程系统最重要的属性之一。面向这种需求, Springer 出版社组织出版了《Springer 可靠性工程丛书》。这套丛书由 61 种专著组成(截止到 2013 年 11 月),涵盖了近年来可靠性相关领域内取得的最新理论成果,介绍了可靠性工程在实际工程上的应用,具有很强的理论和实践价值。

作为《Springer 可靠性工程丛书》的主编,我很高兴中国的国防工业出版社计划将这套丛书中的部分专著以及其他一些近年出版的可靠性优秀英文专著翻译出版,推出《可靠性维修性保障性学术专著译丛》。《可靠性维修性保障性学术专著译丛》中的专著选题覆盖了可靠性领域近期的大部分研究热点和重要成果,具有重要的理论价值和实践指导意义。

这套丛书的翻译工作由北京航空航天大学的康锐教授负责组织。康锐教授是国际知名的可靠性专家,我相信,康锐教授的专业知识和奉献精神,能够有效保证译著的质量。我确信,这些优秀专著的翻译出版将极大地推动中国的可靠性研究和应用工作。

就我个人而言,我更愿意将《可靠性维修性保障性学术专著译丛》看作是可靠性领域内的国际学者与中国同行们进行的一次思想交流。我期待这样的交流在未来更加频繁。特别地,希望中国优秀学者们能够更多地以英文出版学术专著,介绍他们的学术成果,从而向可靠性领域的国际同行们发出来自中国的声音。衷心祝愿中国的可靠性事业更上一个台阶!

Hoang Pham

博士, IEEE 会士

罗格斯大学特聘教授

Springer 可靠性工程丛书主编

译者序

可靠性技术的应用不仅能带来巨大的经济效益,还直接关系到生产安全、资源节约甚至国家的荣誉。

可靠性目前在工程实际中应用最为广泛的是可靠性评估。通常在产品的设计结束后,针对产品样品组织可靠性试验,利用试验数据进行可靠性评估,进而决策产品是否达到预期性能。对于具有足够设计经验的研制人员来说,这种评估方式的结果往往是合格的,但是对于一些存在设计缺陷的产品而言,评估结果不合格就意味着产品需要回到起点去分析每一个可能出现的问题,解决问题之后再进行设计,重新对产品进行可靠性评估,如此迭代,直到产品达到预期目标。这种方式极大地延长了产品的研制周期,并增加了研制成本。在产品整个寿命周期中的各个阶段应用可靠性技术,将有利于改善这种情况。

可靠性工程是产品寿命周期中一系列技术与管理活动的集成。可靠性工程作为一门独立的工程学科受到重视已有 50 多年,它首先是在美国的国防、航空、航天、电子等工业部门应用发展起来的。各发达国家相继效仿并大力推广应用到机械、汽车、冶金、建筑、石油化工等民用工业部门,其发展速度十分惊人。

本书根据 Springer 出版社 2008 年出版的 *Product Reliability: Specification and Performance* 一书翻译而成。该书的参编人员来自国际上从事可靠性研究的著名机构——澳大利亚昆士兰大学机械工程学院、挪威科技大学产品和质量工程学院等院校。主编由澳大利亚昆士兰大学机械工程学院的 D. N. P. Murthy 教授担任,他是 7 个国际杂志的编委,合著学术专著 10 多本,发表期刊论文 200 多篇,以及大量其他论文;在国际质量与可靠性领域有着崇高的威望与重要影响,在质量与可靠性领域的教学与科研方面经验丰富。该书不仅阐述了产品可靠性领域经典的模型和方法,而且凝聚了作者多年从事可靠性领域研究所获得的宝贵经验;介绍了作者在可靠性工程领域所取得的最新成果,并汇聚了国际上其他研究机构所取得的最新技术和方法研究的成果。译者认为,本书的翻译出版,对于国内正在兴起的可靠性相关的理论研究和工程应用工作具有重要的指导意义和参考价值。

全书共 11 章:第 1 章对本书的主要内容进行概述;第 2 章阐述新产品开发的

过程;第3章介绍产品性能与规范;第4章对可靠性理论进行介绍;第5章重点论述产品概念阶段的规范与性能;第6章论述产品设计阶段的规范与性能;第7章阐述产品开发阶段的规范与性能;第8章分析产品生产阶段的规范与性能;第9章讨论产品售后阶段的规范与性能;第10章介绍产品的安全要求;第11章论阐述可靠性管理系统。本书前言及第1章由潘正强和程龙翻译;第2章及第6章由孙权和周星翻译;第3章及第4章由冯静和孟洁茹翻译;第5章及第7章由潘正强和栗雅文翻译;第8章及第10章由孙权和黄彭奇子翻译;第9章及第11章由冯静和郭振惠翻译。冯静、程龙认真阅读了全部译文初稿,规范了专业术语的译法并订正了一些错误。孙权审读全部译稿,并最后定稿。这里向为本书翻译做出贡献的所有人表示感谢。

本书主要论述标准化大批量产品全寿命周期中可靠性工作涉及的可靠性指标及规范问题,涵盖销售、流通、生产等多个领域的专业知识,而译者所在研究团队主要专注于国防工业部门小批量定制产品的可靠性研究工作,因此,尽管我们反复讨论、多次修改,力求译文准确,但仍难免出现差错。此外,由于译者水平有限,译文中的不当之处在所难免。译文中的错误当由译者负责,但我们真诚地希望同行和读者不吝赐教。如果能把你的意见和建议发往 sunquan@nudt.edu.cn,我们将不胜感激。

译者

2014年8月于国防科技大学

前 言

在现代工业社会,越来越多的新产品出现在市场上。这是因为技术的迅速进步和消费者持续增加的需求互相驱动的原因。其结果是,产品变得越来越复杂,每一代新产品的性能也在不断地提高。

产品可靠性是产品正常运行时能够在预期使用寿命内令人满意地运行的一个指标,是消费者和制造商非常感兴趣的。从消费者的角度看,较差的产品可靠性增加了产品的故障频率,同时意味着产品使用寿命内更高的维修费用;从制造商的角度看,较差的产品可靠性通过客户的不满意影响销售,导致更高的保修费用,也影响制造商的声誉以及利润。通常,使性能差的产品令人满意地运行有可能出现安全问题,在这种情况下,产品可靠性需要从社会的角度来看待。

产品可靠性是由产品寿命周期中的设计、开发以及生产阶段的技术决策所决定的,同时对产品寿命周期中的营销和售后支持阶段产生商业影响。产品可靠性需要从整体的商业角度和运用产品寿命周期框架,以及一种联系不同技术与商业问题的方法来进行决策。

本书中提出了有助于决策且与产品可靠性相关的寿命周期框架。框架包含 3 个时期(开发前、开发和开发后)、3 个等级(企业、产品和部件)以及 8 个阶段(阶段 1~8),如图 0.1 所示。本书提出了一种基于寿命周期框架的产品可靠性性能与规范的新方法,该方法涉及期望性能的定义和以一个顺序的方式保证此性能的规范。这种方法运用数学模型来得到预测性能以及比较预测性能和期望性能。运用阶段 3 中部件级的规范,可以在阶段 4~8 对预测的性能进行评估,有助于整个产品寿命周期内进行正确的产品可靠性相关决策。

在寿命周期的第一个时期中,需要回答以下两个重要的问题:

- (1) 如何在产品级决定期望的可靠性能。
- (2) 如何确定能够保证此性能的部件级可靠性。

第一个问题的答案取决于阶段 1 和阶段 2 的决策,第二个问题的答案取决于上述框图中阶段 2 和阶段 3 的决策。

在时期 I 中,产品是一个概念,以图片和相关的计算与评估的形式存在。产品

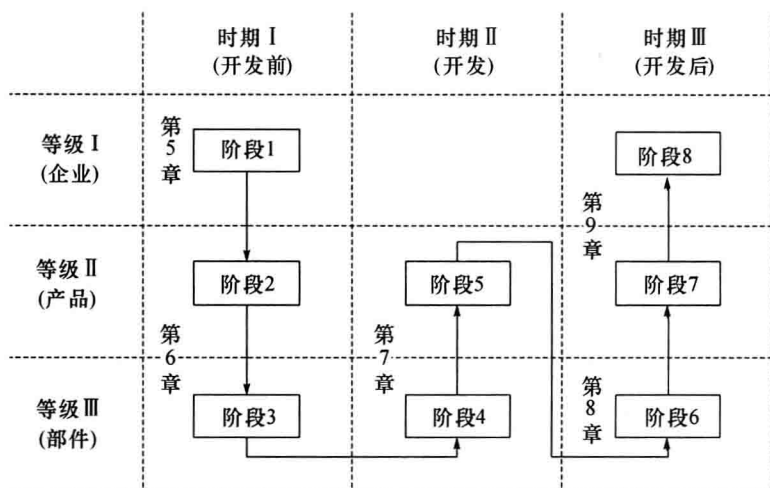


图 0.1 考虑产品可靠性的决策框图

的性能必须通过数学模型、通用数据以及专家评判来进行预测;在时期 II 中,物理模型和原型产品可以得到构建、测试和评估;在时期 III 中,制造出产品并由消费者使用。在时期 II 和时期 III 中,产品的实际性能通过观测数据确定,并与期望性能进行比较。

本书分析了进行有效的产品可靠性相关决策所需要的框图和方法,同时处理了标准的和客户定制的产品,突出了两者之间的异同。

针对与可靠性相关的从业人员和研究者,本书的目的是:为高级经理提供做出可靠性相关决策的方法和依据;为设计人员提供有效地进行可靠性设计的方法;为可靠性研究人员提供开展深入研究的方向。

本书也可作为工程设计、可靠性以及管理相关专业研究生的课程参考书。

本书共 11 章。前 4 章给出了引言并介绍产品可靠性的许多因素。尽管我们尝试让这本书更加完备,但它主要是针对有一定的基础知识和/或产品可靠性相关经验的读者。作为参考,第 4 章简要介绍可靠性理论。第 5 ~ 9 章描述并讨论图 0.1 所示新框图中的 8 个阶段。第 10 章讨论产品的安全性因素。第 11 章中讨论可靠性管理系统。两个案例贯穿全书用以说明产品可靠性的主要因素。第一个案例是移动电话,它说明与标准产品或耐用消费品相关的因素。这个案例以一些小例子的形式来讨论,放在第 4 ~ 10 章的最后部分,突出这些章节的主要问题,也给感兴趣的读者提供能够找到更多信息的参考。第二个案例是安全仪表系统,如过程关闭系统,说明客户定制或专用产品的可靠性因素。此案例包含一些小例子,说明可靠性的中心问题。

本书中的描述非常简要,但是为感兴趣的读者能够找到更多细节提供了大量的参考,并扩展了他们的知识。本书中所用到的符号在附录 A 中列出并进行解释,附录 B 中列出缩略词,附录 C 给出词汇表。

Pra Murthy

于澳大利亚 Brisbane 市

Marvin Rausand

Trond Østerås

于挪威 Trondheim 市

2008 年 3 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 产品特性和视角	3
1.2.1 产品特性:品质和特征	3
1.2.2 消费者的角度	3
1.2.3 制造商的角度	4
1.3 产品可靠性	4
1.3.1 可靠性的定义	4
1.3.2 失效的后果	5
1.4 产品寿命周期	5
1.5 产品性能与规范	6
1.5.1 产品性能	6
1.5.2 产品规范	6
1.5.3 性能与规范的关系	6
1.6 可靠性性能与规范	7
1.6.1 可靠性性能与规范的方法	7
1.6.2 系统方法	8
1.7 本书的目的	8
1.7.1 案例1:移动电话	8
1.7.2 案例2:安全仪表系统	9
1.8 本书内容	10
第2章 新产品开发	12
2.1 引言	12
2.2 产品	12
2.2.1 产品分类	13
2.2.2 新产品的“新”	14
2.2.3 产品分解	15

2.3	产品寿命与产品寿命周期	17
2.3.1	产品寿命	17
2.3.2	产品寿命周期	17
2.4	新产品开发	18
2.4.1	商业全局背景下的新产品开发	18
2.4.2	新产品开发模型的简要综述	19
2.5	产品寿命周期阶段:基本概念与活动	19
2.5.1	前期	20
2.5.2	设计	23
2.5.3	开发	24
2.5.4	生产	25
2.5.5	生产后	26
2.6	产品性能与规范的新模型	27
第3章	产品性能与规范	30
3.1	引言	30
3.2	需求、偏好和约束	30
3.2.1	需求	30
3.2.2	偏好	31
3.2.3	约束	31
3.3	产品性能	32
3.3.1	概念	32
3.3.2	性能的类型	32
3.4	产品规范	34
3.5	性能与规范的关系	35
3.6	时期Ⅰ中的性能与规范	35
3.6.1	阶段Ⅰ	35
3.6.2	阶段2	37
3.6.3	阶段3	37
3.6.4	补充说明	39
3.7	时期Ⅱ中的性能	39
3.7.1	阶段4	39
3.7.2	阶段5	40
3.8	时期Ⅲ中的性能	40
3.8.1	阶段6	41
3.8.2	阶段7	41

3.8.3 阶段8	41
3.9 总体过程	41
3.10 可靠性指标与规范	42
第4章 可靠性理论介绍	43
4.1 引言	43
4.2 基本概念	43
4.2.1 产品的功能	44
4.2.2 失效和相关概念	44
4.2.3 产品可靠性的相关概念	47
4.3 可靠性科学	47
4.4 可靠性建模 I	48
4.4.1 单个产品的可靠性建模	48
4.4.2 物理建模	52
4.4.3 系统建模	53
4.4.4 环境影响的建模	56
4.5 可靠性建模 II	58
4.5.1 修复性维修的建模	58
4.5.2 预防性维修建模	59
4.5.3 其他方法	61
4.6 可靠性分析	61
4.6.1 定性分析	62
4.6.2 定量分析	63
4.6.3 仿真	65
4.7 可靠性工程	66
4.7.1 可靠性分配	66
4.7.2 可靠性改进	66
4.7.3 根本原因分析	67
4.8 可靠性预计和评估	68
4.8.1 可靠性预计	68
4.8.2 可靠性评估	68
4.9 可靠性管理	69
4.9.1 成本	69
4.9.2 进行有效管理的数据	70
4.10 案例研究:移动电话	70

第 5 章 概念阶段的规范与性能 72

5.1 引言 72

5.2 标准产品的前段过程 72

5.3 数据采集与分析 73

5.3.1 数据采集..... 73

5.3.2 数据分析..... 74

5.3.3 数据采集与分析的结果..... 75

5.4 创意的产生和筛选 75

5.4.1 对客户理解..... 76

5.4.2 创意的产生..... 76

5.4.3 创意的筛选..... 77

5.4.4 创意的产生与筛选的结果..... 78

5.5 产品概念系统化和评估 78

5.5.1 定义 DP - I 78

5.5.2 推导 SP - I 81

5.5.3 评估 PP - I 82

5.5.4 模型..... 82

5.5.5 产品概念系统化和评估的输出..... 86

5.6 特殊(客户定制)产品 86

5.6.1 性能要求..... 87

5.6.2 合同..... 88

5.6.3 改进可靠性的保修..... 89

5.6.4 创意的产生和筛选..... 90

5.6.5 DP - I 90

5.6.6 SP - I 91

5.6.7 PP - I 91

5.6.8 阶段 1 的结果..... 92

5.7 产品可靠性的影响因素 92

5.8 案例研究:移动电话..... 93

第 6 章 设计阶段的规范与性能 95

6.1 引言 95

6.2 标准产品的阶段 2 95

6.2.1 定义 DP - II 96

6.2.2 得到 SP - II 96