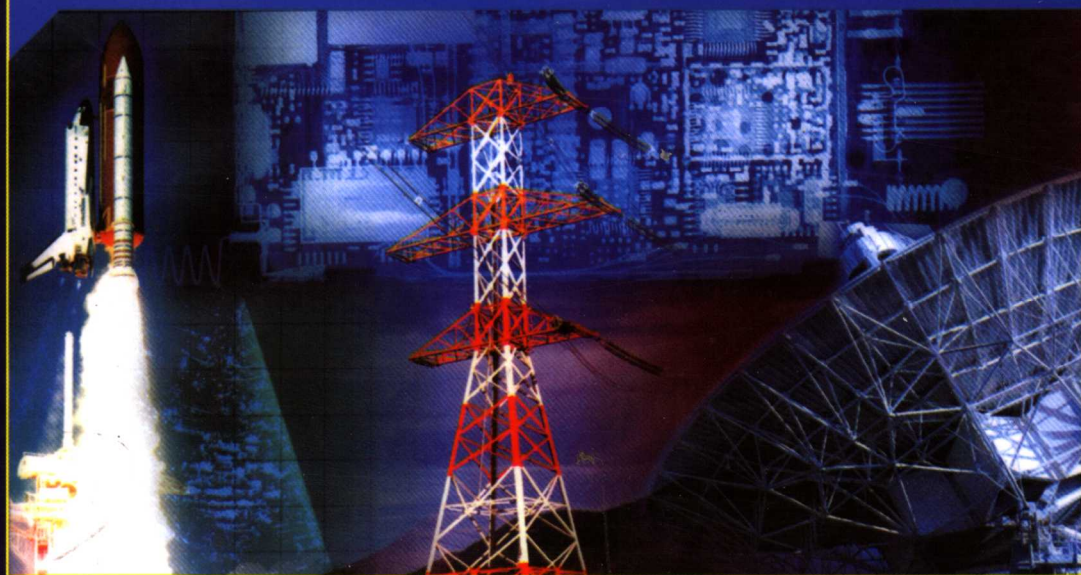


实用可靠性工程

(第四版)

Practical Reliability Engineering
Fourth Edition



[英] Patrick D. T. O'Connor 等著

李莉 王胜开 陆汝玉 等译



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

实用可靠性工程

(第四版)

Practical Reliability Engineering

Fourth Edition

[英] Patrick D. T. O'Connor 等著

李 莉 王胜开 陆汝玉 等译

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书由可靠性领域的著名专家 Patrick O'Connor 撰写而成,是一本比较经典的专著。随着可靠性理论与技术的发展,以及作者研究工作的深入,本书的内容与时俱进,不断更新,现已至第四版。本书系统论述了可靠性工程实施过程中涉及的数学、建模、预计、试验、设计、数据分析和管理等一系列内容,分别阐述了机械系统和电子系统的可靠性问题,并分析了与可靠性密切相关的维修性和可用性问题,同时增加了软件可靠性方面的内容。

全书内容全面、详实,深入浅出,理论、技术与工程相结合,实用价值高。本书可用做大专院校可靠性专业学生的教材,也可供广大从事可靠性工作的工程技术人员和系统管理人员参考。

Patrick D. T. O'Connor: Practical Reliability Engineering, Fourth Edition

ISBN 0-471-19374-7. Copyright © 2002. John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.

No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons, Inc.

Simplified Chinese translation edition Copyright © 2005 by John Wiley & Sons, Inc. and Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版由 John Wiley & Sons 授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何形式或手段复制或抄袭本书内容。

此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)发行与销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2003-0590

图书在版编目(CIP)数据

实用可靠性工程(第四版)/(英)奥康纳(O'Connor, P. D. T.)等著;李莉等译.

-北京:电子工业出版社,2005.1

书名原文:Practical Reliability Engineering, Fourth Edition

ISBN 7-121-00832-7

I.实... II.①奥... ②李... III.可靠性工程 IV.TB114.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第128956号

责任编辑:谭海平

印 刷:北京智力达印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:25.75 字数:659千字

印 次:2005年1月第1次印刷

定 价:49.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

序

不论是民用设备还是军用装备,质量与可靠性都是永恒的主题。随着经济与国防建设的不断发展,可靠性问题已越来越引起人们的重视,可靠性已被视为一项巨大工程给予深入研究。人们痛恨一切质量与可靠性低下的“豆腐渣”工程,人们渴望生产与生活中使用、接触的一切产品、设备和工程,都是高质量、高可靠性的精品。

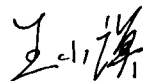
本书由可靠性领域的著名专家 Patrick O'Connor 撰写而成,是一本比较经典的专著。随着可靠性理论与技术的发展,以及作者研究工作的深入,书的内容与时俱进,不断更新,适应了时代发展的需要。本书系统论述了可靠性工程实施过程中涉及的数学、建模、预计、试验、设计、数据分析和管理等问题,分别阐述了机械系统和电子系统的可靠性问题,分析了与可靠性密切相关的维修性和可用性问题,并增加了有关软件可靠性的新内容。全书内容全面、详实,深入浅出,理论、技术与工程相结合,实用价值高,可供从事可靠性工作的工程技术人员和系统管理人员,以及大专院校可靠性工程专业的大学生、研究生参考。

近年来,随着人们对可靠性问题认识水平的不断提高和各级领导的高度重视,我国的可靠性事业得到了长足进步,在生产与工程实践中,可靠性的理论与技术得到了应用,并取得了良好效果。在保证电子元器件和电子设备的质量与可靠性方面,电子装备可靠性信息交换委员会做了大量卓有成效的工作。

在今后经济与国防领域的大系统、大工程建设中,必将会对产品的质量与可靠性提出更高的要求,为此需要不断学习新理论、新技术,并及时借鉴国外的先进经验。他山之石,可以攻玉。电子装备可靠性信息交换委员会组织人员将本书翻译出来,确实做了一件好事、实事,必将有利于推动我国可靠性工作的发展。

在此对编委会和译委会全体同志的辛勤劳动表示感谢!并衷心祝贺书的出版!

中国工程院院士



2004年12月18日

译者序

本书由可靠性领域的著名专家 Patrick O'Connor 撰写而成，是一本比较经典的专著。随着可靠性理论与技术的发展，以及作者研究工作的深入，书的内容与时俱进，不断更新，现已至第四版。本书系统论述了可靠性工程实施过程中涉及的数学、建模、预计、试验、设计、数据分析和管理等一系列内容，分别阐述了机械系统和电子系统的可靠性问题，并分析了与可靠性密切相关的维修性和可用性问题，同时增加了软件可靠性的内容。

在见到本书的第四版后，我们认真细致地通读了全书，认为这确实是一本好书，内容全面、详实，深入浅出，理论、技术与工程相结合，实用价值高。因此我们电子装备可靠性信息交换委员会决定组织人员将之翻译出来，以供广大从事可靠性工作的工程技术和系统管理人员以及大专院校可靠性专业的师生参考，以期推动我国可靠性工作的发展。

书中第1章、第2章由白光瑞翻译，第3章、第4章、第5章、第12章由杨成惠翻译，第6章、第7章、第8章由刘颖翻译，第9章由冯华翻译，第10章由王胜开、李莉翻译，第11章、第14章、附录由陆汝玉翻译，第13章由路金宝翻译，第15章由陈俊宇翻译。最后，全书由李莉、王胜开统稿。

在本书的翻译和出版过程中，得到了电子元器件合同办公室和空二所各位领导与专家的大力指导和帮助，在此代表译委会全体成员表示衷心的感谢！

因译者水平所限，书中错误之处在所难免，敬请读者指正。

电子装备可靠性信息交换委员会秘书长



2004年12月8日

第一版前言

本书旨在为学生和专业工程师,以及管理人员介绍可靠性工程及其管理。全书的重点在于实际应用,所以书中描述的数学概念也相应地限制在求解书中涵盖的问题所必需的那些内容。全书侧重于解决问题的实用办法,诸如概率曲线绘制技术和计算机程序等。援引了数学和统计学方面更为高深的文献,以供进一步阅读。参考文献中列出的参考书仅限于那些被认为能提供该章材料直接延续内容的文献,并强调实际应用。本书采用了大量表格和曲线来补充所叙述的分析方法,而且包括了大量经加工的实例。

本书对美国及英国等国家的管理标准和规范进行了叙述和点评。它被认为是实际处理方法的一个重要方面,因为当前很多工程研制工作都是受这些文件制约的。对现今工程、商业和立法等方面的发展,诸如微电子、基于软件的系统、保护消费者利益和产品责任等的影响亦做了比较详细的论述。

本书还包括了美国质量控制协会和英国质量保证协会在可靠性工程方面的检查纲要的要求,所以它适用于资格认证的培训。本书侧重于工程和管理实际处理办法,全面覆盖了各种标准和规范,加上其总体布局,可使其在工业和政府机构中作为适合使用的通用性参考书。

Patrick O'Connor

1981

第二版前言

自从本书的第一版 1981 年问世以来,我收到了很多有益的评论。发表意见的人总的说来都不是出于恶意,但批评指出,尽管书名是实用可靠性工程,但是本书在某些方面还不是十分实用。通过我本人的工作,我也认识到了这点,特别是在可靠性问题的数学建模和统计应用方面。因此,在第二版所做的大量改动中,增加了我认为关于可靠性管理和工程实践方面的内容。

我增加了有关可靠性预计、演示试验和测定等章节,用以解释并强调基本的和重要的不确定性问题,这些不确定性是与意欲量化及预测本来就具有非确定性的工程化产品特性相关联的。我相信,当涉足可靠性工作的人们设法把自己从“数字游戏”的束缚下解脱出来时,也就为各种实用的工程和管理方法开拓了道路,而这些方法是获取今天市场所需要的高度可靠产品的惟一途径。我没有去掉量化可靠性方法的描述,因为我相信,当将常识及对它们固有局限的理解加以应用时,可以帮助我们解决可靠性问题并设计和制造出更好的产品。

我增加了新的三章,都是与实用方面相关的。

第一版论述了如何对试验数据进行分析,但很少谈及如何进行试验。所以我新写了一章关于可靠性试验的内容,包括环境和应力试验以及可靠性和其他研制试验的综合。我非常感激 Wayne Tustin 就此提出的建议以及他在这方面给予的帮助和忠告。

显而易见,制造质量是获取高可靠性的根本保证。这一点我在第一版中就已经明确,但没有发挥。我增加了一章关于质量保证(QA)的内容,以及有关可靠性和质量保证工作综合管理的新材料。

维修也要影响到可靠性,于是我新增加了一章关于维修和维修性的内容,重点强调它们是如何影响可靠性的,可靠性又是如何影响维修计划的,以及这两者是如何影响可用性的。

我还新增加了有关可修复系统的可靠性分析这一重要课题的材料。美国海军研究实验室的 Harry Ascher 曾指出,有关可靠性的文献,包括我这本书的第一版,几乎全都忽视了这方面的内容,以至于出现了混淆和分析错误。有多少可靠性工程师和教师知道除了特殊的和非现实的情况外,可修复系统可靠性数据的 Weibull(威布尔)分析会使人误解?感谢 Harry Ascher,现在知道了,我已在新版中试图解释这一点。

我还在本书的其他部分增加了最新的材料,特别是在电子和软件可靠性部分。

第一版的第三次印刷包括很多勘误,本版中做了更多的勘误。

我非常感谢曾指出错误并帮我改正错误的人士。Hewlett Packard 公司的 Paul Baird, Palo Alto 特别慷慨。英国宇航公司的同仁,特别是 Brian Collett, Norman Harris, Chris Gilders 和 Gene Morgan,以及其他许多人,也提供了帮助、忠告和鼓励。

最后,我要感谢我的夫人 Ina 的耐心、支持和打字工作。

Patrick O'Connor

1985

第三版前言

新的工业革命几乎主要是由所有工业部门中的质量和生产力的不断提高所推动的。每个事例成功的关键都在于影响质量和可靠性的各个过程的完整集成,包括产品规范、设计、试验、制造和保障等过程。其他要素是对可能影响产品性能、费用和可靠性的诸多方面的变异的了解和控制。随着这些必须实施的过程日益成为现代工业赖以生存的工具,一些导师,如 W.E. Deming(戴明)和 G. Taguchi(田口)的声望不断提高,追随者也不断增加。

我试图在第二版中强调这些因素,但现在我更加突出了它们,我强调了利用统计实验以防止出现问题而不仅仅是为了解决问题,而这个论题现在是作为一个设计和开发活动来叙述的。我在生产质量保证一章中添加了过程改进方法以及更多有关过程控制技术的内容。各章以及有关管理的一章都进行了扩展,强调了工程工作的整合,以便能够确认、尽量缩小并减少变异及其影响。本书首次介绍了 Taguchi 和 Shainin 的重要工作。Chris Gray 在叙述 Taguchi 方法的过程中,给了我很多有价值的帮助。

我更新了几章内容,特别是关于电子系统可靠性的内容,我还新增了关于机械部件和系统的可靠性一章。感谢 Dennis Carter 教授在我写这一章时给我的建议。

我借此机会对本书的结构进行了重组,以便更好地反映工程开发的主要顺序,同时强调综合的、迭代式方法的重要性。

我又一次得到了很多曾对早先版本提出过善意评论的人们的帮助,而我已尽量考虑了这些意见。还要特别感谢 Norman Harris,是他使工程和统计学真正结合在了一起,并帮助我表述了他的见解。

最后我对我的夫人和孩子们所表现出的耐心和支持表示衷心的感谢。在家写作必定要求有深切的爱和宽容。

Patrick O'Connor

1990

第三版修订本前言

第三版修订本是为了回应众多的建议而产生的,如果本书包含有各种练习题,将会对学生和教师具有更大的价值。David Newton 和 Richard Bromley 因而与我合作,给本书的每一章都配了适当的练习题。

这些练习题几乎包括了英国质量保证协会(IQA)和美国质量控制协会(ASQC)所确定的所有可靠性考试命题类型。ASQC 考试题为多项选择类型,不是这里采用的格式,不过这对 ASQC 考试所准备的练习的价值没有影响。

教师可给位于 Chichester 的 John Wiley and Sons 有限公司写信,从而免费得到一本题解。

感谢 David Newton 和 Richard Bromley 在准备本修订本时所给予的热情支持。

Patrick O'Connor

1995

第四版前言

自上次对本书做出重大修订和更改以来已有十多年了。在这期间,工程技术和可靠性方法方面都取得了很多的进展。在新版中,我力图把所有现今影响可靠性工程和管理的重要变化都包括进去。为了保持这本书的初衷,强调了那些具有实用意义的内容。

主要的改动和增补包括:

- 工程产品如何失效的更新和更为详细的描述(第 1 章、第 8 章和第 9 章)。
- 工程变异性质的更为详细的描述(第 2 章)。
- Petri 网和 $M(t)$ 方法的描述(第 6 章和第 12 章)。
- 工程系统中特殊软件方面更为详细的描述,以及关于设计、分析和试验方法更新的描述(第 10 章)。
- 开发和制造过程中加速试验方法的详细描述(第 11 章和第 13 章)。
- 电子设备试验方法和验收抽样的更新和更详细的描述(第 13 章)。
- 管理的各个方面更为详细的描述,包括标准、“六西格玛”和供应商管理(第 15 章)。
- 更新的参考标准,以及更新和更详细的参考文献。

经出版商许可,本书中采用了我撰写的《试验工程》一书中的某些新材料。

问题和答案手册(可单独从出版商处获取)也进行了增补,以便包容新的材料。

本书的因特网主页也已经建立,网址是 www.pat-oconnor.co.uk/practicalreliability.htm。该网页包括与可靠性工程有关的服务和软件的供应商名册。

我要对 S.K. Yang 教授在 Petri 网方法描述方面给予的热心协助,以及 Gregg Hobbs 博士在加速试验和数据分析方面进行的教学工作和帮助答疑深表谢意。还要感谢所有提出过建议和指出过错误的人士。最后要再次感谢我的夫人 Ina。

Patrick O'Connor

2001

致 谢

在此我要对很多给予帮助和建设性评论的人士深表谢意。R.A.Evans 博士为本书的改进提供了非常宝贵的点评、修改和建议。我的同事 Norman Harris 先生对第 2 章和第 3 章的材料提供了许多宝贵的帮助并提出了若干新见解。英国皇家军事科学院的 A.D.S.Carter 教授就第 4 章的分析方法给予了很有帮助的建议,我很感谢他允许我从他发表过的论文中引用了有关载荷强度干扰的资料,这些资料列于该章末尾的参考文献中。伦敦城市大学的 Bev Littlewood 博士就第 10 章中的软件可靠性问题非常大地提出了各种建议和评论。Kenneth Blemel 先生也对改进和修改提出了很多建议。我还要感谢很多鼓励和帮助过我的人士,他们要么在讨论过程中就正文给予了点评,要么在其出版物中给我提供了深入的见解和指导。

我对得到允许引用下列版权材料表示感谢:表 2.4 来自 W.Volk 的“Applied Statistics for Engineers”, McGraw-Hill, 纽约(1958);图 2.16 来自“Industrial Quality Control”(1965 年 12 月);图 2.17 来自 H.F.Dodge 和 H.G.Romig 的“Sampling Inspection Tables”, 贝尔电话实验室(1944);图 4.4 至图 4.7 来自 A.D.S.Carter 的“Reliability reviewed”, Proc. Inst. Mech. Eng., 193(4)(1979);表 6.1 改编自 R.H.Myers、K.L.Wong 和 H.M.Gordy 的“Reliability Engineering for Electronic Systems”, Wiley, 纽约(1964);图 9.5 和图 9.6 以及表 9.4 来自 R. I. Anderson, RDH 376 的“Reliability Design Handbook”, 可靠性分析中心, IIT 研究所(1976);附录 D 来自 A. Hald 的“Statistical Tables and Formulas”, Wiley, 纽约(1952);概率和瞬时故障率图纸来自管理股份有限公司、H.W.Peel 和 Co. 有限公司的技术及工程辅助程序。

最后,我要感谢 Linda Rendle 女士,她快速而高效地完成了手稿的打印工作,我还要感谢英国宇航动力集团 Stevenage 分部对我写这本书给予的鼓励和帮助。

符号和定义

符号一览表

α	生产方风险(在进行抽样和序贯试验时,好的样本或产品会被拒收的统计概率),又称 Duane(杜安)斜率,也称统计显著性、统计置信度
β	使用方风险(在进行抽样和序贯试验时,坏的样本或产品会被接收的统计概率),又称 Weibull(威布尔)分布的形状参数(斜率)
γ	Weibull 分布的位置参数(最小寿命)
μ	一个连续分布的位置参数,等于统计正态分布的平均值
η	Weibull 分布的特征寿命
σ	统计正态分布的标准差(尺度参数)
ν	自由度
θ	恒定失效率的平均故障间隔时间(MTBF)
λ	失效率
$\Phi(z)$	标准正态分布的分布函数
$B(\cdot)$	Weibull 分布的 B 寿命,例如 B_{10} 寿命
C	统计置信度
C_p, C_{pk}	处理能力
d	设计比 = 设计 MTBF/MTBF 下限
$E(\cdot)$	统计期望值 s, x 的统计期望值用 $\bar{x}$ 来表示
$f(\cdot)$	函数,对某个分布而言,指概率密度函数(p.d.f.)
$F(\cdot)$	累计分布函数(c.d.f.)
F	方差比
$h(\cdot)$	瞬时故障函数
$H(\cdot)$	累计瞬时故障函数
L	载荷
n	样本大小(样本量)
N	总体大小
$P(\cdot)$	统计概率
$P(\cdot \cdot)$	条件统计概率
r	统计相关系数,也表示中位秩的秩值
$R(\cdot)$	可靠性函数
S	标准误差,也表示强度
t	时间

$\text{Var}(\cdot)$	方差(σ^2)
$\bar{x}$	分布变量 x 的平均值
z	标准正态分布的正态函数

精选的定义

可靠性

可靠性 产品在规定的条件下,在给定的时间内执行所要求的功能的能力(BS 4778)。

(注:可靠性这个术语也可表示为某个概率或某个成功比率。)

冗余 有多于一种的途径去完成某项给定功能。完成该项功能的途径不一定必须是相同的(MIL-STD-721B)。

工作冗余 所有冗余项都同时工作,而不是在需要时启动(MIL-STD-721B)。

备用冗余 在不需要时,执行该项功能的各种替代途径处于非工作状态,只是当完成该项功能的主要途径失效时才启动(MIL-STD-721B)。

失效

失效 产品执行其所需执行功能的能力的终止(BS 4778)。

观测的失效率 在给定的产品寿命期内,抽取的样本中总的失效数与对该样本的累计观测时间之比。在该产品的寿命周期内及规定条件下,其观测的失效率与特定的某个给定的时间间隔(或时间间隔的总和)有关(BS 4778)。

观测的平均故障间隔时间(MTBF) 在给定的产品寿命期内,相邻故障间的时间长度的平均值,是以在给定条件下累计的观测时间与故障数的比值来计算的(BS 4778)。

观测的平均失效前时间(MTTF)(对不修复产品) 在给定的产品寿命期内,在给定条件下,样本的累计观测时间与该时期内该样本中的失效总数之比(BS 4778)。

观测的 B 百分寿命 观测时间的长度,在这段时间里,有规定比例($B\%$)的产品样本失效(BS 4778)。

目 录

第 1 章 可靠性工程引言	1
1.1 什么是可靠性工程	1
1.2 为什么要讲授可靠性工程	2
1.3 为什么工程产品会失效	3
1.4 概率可靠性	6
1.5 可修复和不修复产品	7
1.6 失效随时间变化的模式(不修复产品)	8
1.7 失效随时间变化的模式(可修复产品)	8
1.8 可靠性工程的发展	9
1.9 课程、会议和文献	10
1.10 可靠性工作涉及的组织结构	11
1.11 可靠性作为一个有效性参数	11
1.12 可靠性工作的各项活动	12
1.13 可靠性经济学和管理	13
参考文献	15
问题	15
第 2 章 可靠性数学	16
引言	16
2.1 变异	16
2.2 概率的概念	17
2.3 概率法则	19
2.4 连续变量	24
2.5 连续分布函数	27
2.6 连续统计分布的汇总	34
2.7 工程中的变异	36
2.8 离散变量	41
2.9 统计置信度	45
2.10 统计假设检验	47
2.11 非参数推断方法	50
2.12 拟合优度	52
2.13 事件列(点过程)	55
2.14 统计学计算机软件	57
2.15 实用结论	57
参考文献	58
问题	59

第3章 概率图法	62
引言	62
3.1 数据的秩评定	62
3.2 概率图技巧	64
3.3 对数正态概率图	68
3.4 威布尔概率图	68
3.5 极值概率图	74
3.6 瞬时故障率图	76
3.7 分布选择与结果评估	79
3.8 二项数据的概率图	80
3.9 小结	86
参考文献	86
问题	86
第4章 载荷-强度干涉	90
引言	90
4.1 分布的载荷与强度	90
4.2 载荷-强度干涉分析	92
4.3 安全裕度与载荷粗糙度对可靠性的影响(施加多个载荷)	93
4.4 小结	100
参考文献	101
问题	101
第5章 统计实验	102
引言	102
5.1 统计实验设计和方差分析	102
5.2 非参数方法	112
5.3 数据随机化	113
5.4 结果的工程解释	114
5.5 Taguchi 方法	114
5.6 调优运算	118
5.7 小结	118
参考文献	119
问题	120
第6章 可靠性预计与建模	122
引言	122
6.1 可靠性预计的基本限制	122
6.2 可靠性数据库	125
6.3 实用途径	126
6.4 系统可靠性模型	127
6.5 可修复系统的可用性	130
6.6 模块化设计	133

6.7	框图分析	134
6.8	故障树分析(FTA)	138
6.9	Petri 网	140
6.10	状态空间分析(马尔可夫分析)	143
6.11	蒙特卡罗仿真	147
6.12	可靠性分配	149
6.13	可靠性预计和建模的标准方法	149
6.14	小结	150
	参考文献	150
	问题	151
第 7 章	设计中的可靠性	155
	引言	155
7.1	计算机辅助工程	155
7.2	环境	156
7.3	设计分析方法	157
7.4	质量功能展开(QFD)	157
7.5	载荷-强度分析(LSA)	159
7.6	失效模式、影响与危害性分析(FMECA)	160
7.7	用于 FMECA 的可靠性预计	164
7.8	瞬时故障和可操作性研究(HAZOPS)	165
7.9	零部件、材料和过程(PMP)评审	165
7.10	非材料失效模式	166
7.11	人的可靠性	166
7.12	对于各种过程的设计分析	167
7.13	关键项目清单	169
7.14	总结	169
7.15	设计评审的管理	170
7.16	技术状态(配置)控制	171
	参考文献	172
	问题	172
第 8 章	机械零部件和系统的可靠性	173
	引言	173
8.1	机械应力、强度和断裂	173
8.2	疲劳	176
8.3	蠕变	181
8.4	磨损	181
8.5	腐蚀	182
8.6	振动和冲击	183
8.7	温度影响	184
8.8	材料	186

8.9 零部件	187
8.10 制造过程	187
参考文献	188
问题	189
第 9 章 电子系统可靠性	191
引言	191
9.1 电子元器件的可靠性	192
9.2 元器件类型和失效机理	195
9.3 器件失效模式总结	206
9.4 电路和系统方面的问题	207
9.5 电子系统可靠性预计	209
9.6 电子系统设计中的可靠性	210
9.7 参数变异和容差	217
9.8 考虑生产、测试和维修的设计	221
参考文献	222
问题	223
第 10 章 软件可靠性	225
引言	225
10.1 工程系统中的软件	227
10.2 软件错误	227
10.3 防止错误	230
10.4 软件结构和模块化	230
10.5 编程样式	232
10.6 容错	232
10.7 冗余/分集	232
10.8 语言	233
10.9 数据可靠性	234
10.10 软件检查	234
10.11 软件设计分析方法	235
10.12 软件测试	236
10.13 错误报告	238
10.14 软件可靠性预计和度量	239
10.15 硬件/软件接口	242
10.16 小结	243
参考文献	245
问题	245
第 11 章 可靠性试验	246
引言	246
11.1 制定可靠性试验计划	247
11.2 试验环境	248