



《中国工程物理研究院科技丛书》第 040 号

# 系统可靠性工程

金碧辉 主编

国防工业出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

系统可靠性工程/金碧辉主编. —北京:国防工业出版社, 2004. 6

(中国工程物理研究院科技丛书)

ISBN 7-118-03481-9

I. 系… II. 金… III. 系统可靠性 IV. N945.17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 043193 号

**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 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

\*

开本 850×1168 1/32 印张 13½ 336 千字

2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月北京第 1 次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 42.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

## 致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

**国防科技图书出版基金资助的对象是:**

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金  
评审委员会**

国防科技图书出版基金  
第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植				
顾问	黄宁				
主任委员	殷鹤龄				
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋		
秘书长	张又栋				
副秘书长	崔士义	蔡镛			
委员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成	
(按姓名笔画排序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生	
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同	
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇	
	崔尔杰	彭华良	韩祖南	舒长胜	

# 《中国工程物理研究院科技丛书》 出版说明

中国工程物理研究院建院 40 多年来,坚持理论研究、科学实验和工程设计密切结合的科研方向,完成了国家下达的各项国防科研任务。通过完成任务,在许多专业学科领域里,不论在基础理论方面,还是在实验测试技术和工程应用技术方面,都有重要发展和创新,积累了丰富的知识经验,造就了一大批优秀科技人才。

为了扩大科技交流与合作,促进我院事业的继承与发展,系统地总结我院 40 多年来在各个专业领域里集体积累起来的经验,吸收国内外最新科技成果,形成一套系列科技丛书,无疑是一件十分有意义的事情。

这套丛书将部分地反映中国工程物理研究院科技工作的成果,内容涉及本院过去开设过的 20 几个主要学科。现在和今后开设的新学科,也将编著出书,续入本丛书中。

这套丛书将在今后几年里陆续编辑出版。我院早些年零散编著出版的专业书籍,经编委会审定后,也纳入本丛书系列。

谨以这套丛书献给 40 多年来为我国国防现代化而献身的人们!

《中国工程物理研究院科技丛书》

编审委员会

1999 年 6 月 4 日修改

# 《中国工程物理研究院科技丛书》 第五届编审委员会名单

顾 问 俞大光  
编委会主任 杜祥琬  
副 主 任 彭先觉 孙 颖 李志民  
委 员 (以姓氏笔划为序)  
华欣生 江 松 刘柯钊 孙承纬 陈银亮  
何建国 李 凡 李泽仁 苏 毅 汪小琳  
吴志杰 张方晓 张富堂 张 健 罗顺火  
孟凡宝 郑志坚 周德惠 竺家亨 顾 援  
唐永建 黄 辉 彭述明

科技丛书编辑部负责人 李天惠

本册编辑 李天惠

《中国工程物理研究院科技丛书》  
已 出 版 书 目

- 001 高能炸药及相关物性能  
董海山、周芬芬主编 科学出版社 1989年11月
- 002 光学高速摄影测试技术  
谭显祥编著 科学出版社 1990年02月
- 003 凝聚炸药起爆动力学  
章冠人等编著 国防工业出版社 1991年09月
- 004 线性代数方程组的迭代解法  
胡家贛编著 科学出版社 1991年12月
- 005 映象与混沌  
陈式刚编著 国防工业出版社 1992年06月
- 006 再入遥测技术(上册)  
谢铭勋编著 国防工业出版社 1992年06月
- 007 再入遥测技术(下册)  
谢铭勋编著 国防工业出版社 1992年12月
- 008 高温辐射物理与量子辐射理论  
李世昌编著 国防工业出版社 1992年10月
- 009 粘性消动法和差分格式粘性  
郭柏灵著 科学出版社 1993年03月
- 010 无损检测技术及其应用  
张俊哲等著 科学出版社 1993年05月
- 011 半导体材料辐射效应  
曹建中著 科学出版社 1993年05月
- 012 炸药热分析



- 楚士晋编著 科学出版社 1994年12月
- 013 脉冲辐射场诊断技术**  
刘庆兆主编 科学出版社 1994年12月
- 014 放射性核素活度的测量方法和技术**  
古当长编著 科学出版社 1994年12月
- 015 二维非定常流和激波**  
王继海编著 科学出版社 1994年12月
- 016 抛物型方程差分方法引论**  
李德元 陈光南著 科学出版社 1995年12月
- 017 特种结构分析**  
刘新民 韦日演主编 国防工业出版社 1995年12月
- 018 理论爆轰物理**  
孙锦山 朱建士著 国防工业出版社 1995年12月
- 019 可靠性维修性可用性评估手册**  
潘吉安编著 国防工业出版社 1995年12月
- 020 脉冲辐射场测量数据处理与误差分析**  
陈元金编著 国防工业出版社 1997年01月
- 021 近代成像技术与图像处理**  
吴世法著 国防工业出版社 1997年03月
- 022 一维流体力学差分方法**  
水鸿寿著 国防工业出版社 1998年02月
- 023 抗辐射电子学—辐射效应及加固原理**  
赖祖武等著 国防工业出版社 1998年07月
- 024 金属的环境氢脆及其试验技术**  
周德惠 谭云编著 国防工业出版社 1998年12月
- 025 试验核物理测量中的粒子分辨**  
段绍节编著 国防工业出版社 1999年06月
- 026 实验物态方程导引(第二版)**  
经福谦著 科学出版社 1999年09月
- 027 无穷维动力系统**

- 郭柏灵著 国防工业出版社 2000年01月
- 028 真空吸取器设计及应用技术**  
单景德编著 国防工业出版社 2000年01月
- 029 再入飞行器天线**  
金显盛编著 国防工业出版社 2000年03月
- 030 应用爆轰物理**  
孙承纬著 国防工业出版社 2000年12月
- 031 混沌的控制、同步与利用**  
陈式刚等著 国防工业出版社 2000年12月
- 032 激光干涉测速技术**  
胡绍楼著 国防工业出版社 2000年12月
- 033 空气炮理论与实验技术**  
王金贵著 国防工业出版社 2000年12月
- 034 一维不定常流与激波**  
李维新著 国防工业出版社 2000年12月
- 035 X射线与超紫外辐射源及其计量技术**  
孙景文编著 国防工业出版社 2001年03月
- 036 含能材料热谱集**  
董海山等编著 国防工业出版社 2001年03月
- 037 材料中的氦及氘渗透**  
王佩璇 宋家树编著 国防工业出版社 2002年04月
- 038 高温等离子体 X射线谱学**  
孙景文编著 国防工业出版社 2003年01月
- 039 激光核聚变靶物理基础**  
张钧 常铁强著 国防工业出版社 2004年06月
- 040 系统可靠性工程**  
金碧辉主编 国防工业出版社 2004年06月

# 前 言

随着改革开放的深入发展,国内外市场的进一步扩大,人们愈来愈深刻地认识到产品可靠性的重要性。它不仅关系到每一个人的切身利益,而且关系到企业的兴衰,国家的强弱。对于一个企业来说,没有可靠的产品,就无法在市场经济的风浪中站稳脚跟。作为一个国家,没有相当多的过硬的企业,要想富强也是非常困难的。

提高产品的可靠性,加强产品的竞争能力,这是形势的要求、时代的呼唤。为此,必须学可靠性、用可靠性、发展可靠性。

由于种种原因,在我国广大工程技术人员和管理人员中,了解、熟悉可靠性的只是少数。这一现象的存在,势必阻碍着可靠性工程的推进。作为工程技术人员,我们在学习和应用可靠性的过程中吃过苦头、走过弯路、有过迷惑。我们深感,在繁忙的工作中挤出时间系统自学可靠性知识是何等不易。为了帮助广大工程技术人员、管理人员学用可靠性,我们萌生了编写该书的强烈愿望。经过编写组多年不懈努力和辛勤耕耘,该书终于问世了,希望它能够成为读者的知心朋友。

该书有以下特点:

1. 在重视理论的基础上,更加重视工程实践。该书努力吸收了国内外先进的可靠性技术和管理思想,并紧密结合工程实践的实例,对可靠性工程进行了系统介绍。

2. 本着“求实、创新、奉献”的精神,我们将多年研究的成果及实践经验有机地融入书中,与读者共享。

3. 为了提高实用性和可操作性,书中略去了一些公式的繁杂推导,把主要精力集中在解决问题的思路和方法上。在语言、构思

等方面尽可能深入浅出,力求工程化、通俗化、标准化。

4. 全书按照“可靠性是设计出来的、生产出来的、管理出来的,是通过试验或使用表现出来的”思想展开,有较强的系统性、完整性。与此同时,各章又保持相对的独立性。读者既可系统阅读,也可根据需要选读有关章节。

5. 该书主要面向广大工程技术人员和管理人员,同时也可作为相关专业大学生、研究生的参考书。

全书共分13章。其中第1、2、3、7、8、9、10、13章由金碧辉编写;第4、5章由唐炜编写;第6章由李建军编写;第11章由王正良编写;第12章由白林生编写。

限于水平和精力,书中难免有错误或不妥之处,热忱希望有关专家和广大读者指正。

该书由俞大光院士和成都电子科技大学傅崇伦教授审稿,对他们热心的指导、帮助,在此表示真诚的谢意。同时也借此机会,向所有关心、支持我们的同志致谢。

作 者

2003年7月

## 内 容 简 介

本书以工程人员的视角,系统、简明地阐述了产品可靠性设计、可靠性试验、可靠性评估、可靠性管理的理论和方法,并结合实际,编入了较多的实例。在内容上既吸收了国内外的研究成果,也融入了作者多年来的研究成果和经验。

本书可供从事可靠性专业及相关专业的科研人员、管理人员参考。

The theory and method of reliability design, testing, assessment, and management are systematically and briefly expounded from the engineering technical point of view in this book. Many examples are written according to practical needs. The book contains not only international research achievements, but also achievements and experiences the author have acquired after years of research.

This book can be used as a reference book for researchers and administrators working at reliability and other interrelated specialties.

# 目 录

<b>第 1 章 可靠性概论</b> .....	1
1.1 研究可靠性的重要意义 .....	1
1.2 可靠性的基本概念.....	3
1.2.1 可靠性的定义.....	3
1.2.2 任务可靠性与基本可靠性.....	4
1.2.3 固有可靠性与使用可靠性.....	6
1.2.4 可靠性评估.....	6
1.2.5 可靠性工程.....	7
1.3 复杂系统可靠性的特点 .....	8
1.4 提高可靠性的途径.....	9
参考文献 .....	11
<b>第 2 章 可靠性参数与指标</b> .....	12
2.1 系统可靠性参数 .....	12
2.2 系统广义可靠性参数(综合可靠性参数).....	17
2.3 系统可靠性参数的选择 .....	21
2.4 系统可靠性指标 .....	22
2.4.1 可靠性验证指标 .....	22
2.4.2 可靠性设计指标 .....	25
2.4.3 最低可接受值与规定值 .....	26
2.5 可靠性指标的论证 .....	27
参考文献 .....	28
<b>第 3 章 可靠性模型的建立与优化</b> .....	29
3.1 概述 .....	29
3.2 可靠性模型的分类 .....	31

3.3 任务可靠性模型的建立 .....	32
3.3.1 准备工作 .....	32
3.3.2 简单任务可靠性模型的建立 .....	34
3.3.3 复杂任务可靠性模型的建立 .....	50
3.4 任务可靠性模型的优化 .....	65
3.4.1 串联模型的选择 .....	65
3.4.2 并联模型的选择 .....	66
3.4.3 旁联模型的选择 .....	69
3.4.4 网络系统的优化 .....	69
参考文献 .....	71
<b>第4章 可靠性预计</b> .....	<b>72</b>
4.1 概述 .....	72
4.2 可靠性预计方法的分类 .....	73
4.3 单元可靠性预计方法 .....	74
4.3.1 结构参数法 .....	74
4.3.2 相似产品法 .....	76
4.3.3 专家评分法 .....	77
4.3.4 元器件计数法 .....	78
4.3.5 元件应力分析法 .....	80
4.3.6 故障率预计法 .....	81
4.4 系统可靠性预计方法 .....	81
4.4.1 串联系统可靠性预计模型 .....	81
4.4.2 其他系统可靠性预计模型 .....	83
4.4.3 蒙特卡罗法 .....	84
4.5 提高预计精度的措施 .....	85
4.6 预计报告应包含的内容 .....	86
参考文献 .....	86
<b>第5章 可靠性指标分配</b> .....	<b>87</b>
5.1 概述 .....	87
5.2 可靠性分配的准则 .....	88
5.3 可靠性分配方法的分类 .....	89

5.4	可靠性分配应注意的事项	89
5.5	无约束串联系统的可靠性分配	90
5.5.1	等分配法	90
5.5.2	评分分配法	92
5.5.3	比例组合法	94
5.5.4	考虑重要度和复杂度的分配方法	97
5.6	无约束串并联混合系统的可靠性分配	100
5.7	有约束条件串并联系统的可靠性分配	102
5.7.1	直接寻查法	103
5.7.2	拉格朗日乘数法	106
	参考文献	108
<b>第 6 章</b>	<b>故障模式、影响及危害性分析</b>	<b>109</b>
6.1	概述	109
6.2	常用的术语	109
6.2.1	故障	109
6.2.2	故障模式	110
6.2.3	故障影响	110
6.2.4	故障原因	110
6.2.5	严酷性与严酷度	110
6.2.6	危害性与危害度	110
6.3	故障模式、影响分析(FMEA)	110
6.3.1	开展 FMEA 应具备的条件	110
6.3.2	FMEA 的基本方法	110
6.3.3	FMEA 的工作程序	111
6.4	危害性分析(CA)	114
6.4.1	定性分析法	114
6.4.2	定量分析法	115
6.5	可靠性关键件、重要性的划分	118
6.5.1	定性法划分可靠性关键件、重要件的步骤	119
6.5.2	定量法划分可靠性关键件、重要件的步骤	119
6.6	进行 FMECA 容易出现的几种倾向	119



6.7 应用实例 .....	120
参考文献 .....	124
<b>第7章 可靠性试验概论</b> .....	<b>125</b>
7.1 可靠性试验的分类 .....	125
7.1.1 按试验目的分 .....	125
7.1.2 按试验场地分 .....	127
7.1.3 按试验单元分 .....	128
7.2 可靠性试验条件 .....	128
7.2.1 使用环境与可靠性试验条件 .....	128
7.2.2 可靠性验证试验条件的制定 .....	129
7.2.3 可靠性增长试验条件的制定 .....	142
7.2.4 环境应力筛选条件的制定 .....	143
7.3 故障判据 .....	144
7.3.1 故障判据的定义 .....	144
7.3.2 确定故障判据的准则 .....	145
7.3.3 故障判据的分析 .....	145
7.4 性能试验、环境试验与可靠性试验 .....	145
7.4.1 区别与联系 .....	146
7.4.2 环境应力筛选与环境验收试验的结合 .....	147
7.4.3 可靠性增长试验与环境鉴定性试验的结合 .....	147
7.4.4 试验的统筹安排 .....	149
参考文献 .....	150
<b>第8章 环境应力筛选试验</b> .....	<b>151</b>
8.1 概述 .....	151
8.1.1 定义及其说明 .....	151
8.1.2 环境应力筛选的用途 .....	151
8.1.3 环境应力的确定 .....	152
8.1.4 电应力与性能测试 .....	159
8.1.5 筛选组装等级选择 .....	160
8.1.6 常规筛选与定量筛选 .....	160
8.2 常规筛选 .....	161