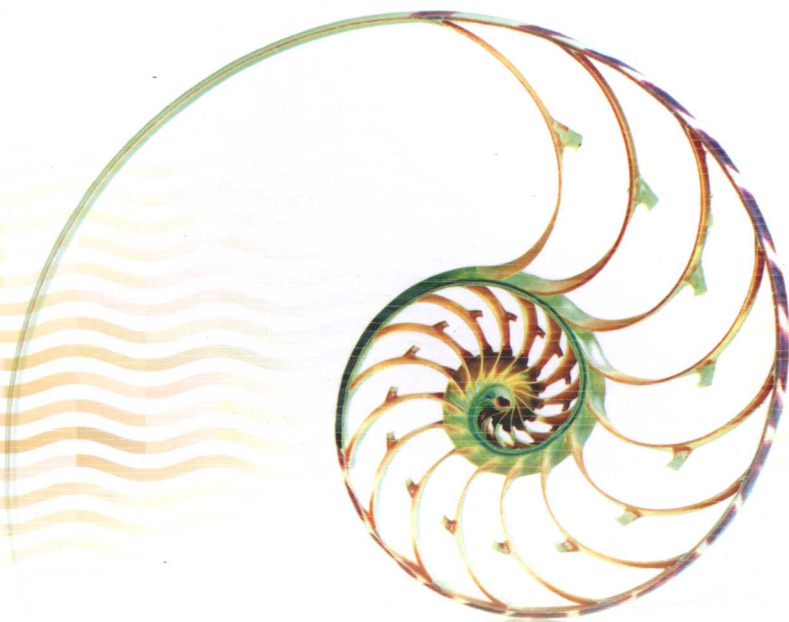


可靠性技术丛书

工业和信息化部电子第五研究所 组编



可靠性设计

◎ 谢少锋 张增照 聂国健 编著



中国工信出版集团



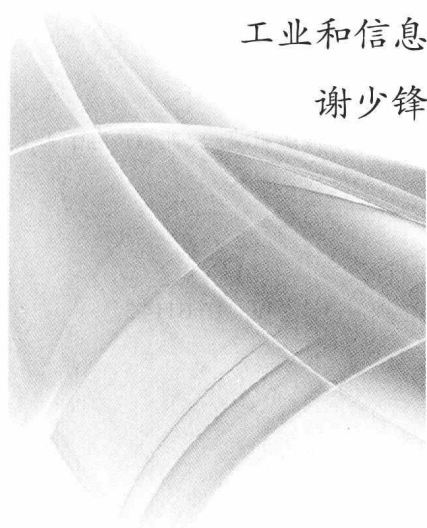
电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

可靠性技术丛书

可靠性设计

工业和信息化部电子第五研究所 组编

谢少锋 张增照 聂国健 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书分为上下两篇，主要介绍了可靠性设计的指导思想、理论依据和实施方法及其案例。上篇为可靠性定量设计，包括可靠性建模、预计、分配、FMEA、FTA 等内容，其主要目的是向读者介绍可靠性定量活动中最常用的技术和方法，在第 9 章中，用案例演示了产品定量可靠性设计的过程。下篇是可靠性定性设计，包括可靠性设计准则的制定与实施、元器件选择与应用、元器件的主要失效模式及其预防、降额设计、防静电、防门锁、防浪涌、热设计、电磁兼容设计、容差与漂移设计、三防设计、容错设计、潜在通路分析、软件可靠性设计等。为了避免读者实施定量可靠性设计时烦琐的数学计算，本书还介绍了可靠性定量设计的计算机辅助工具。为了给企业读者提供一套质量可靠性的提升路径，本书最后一章介绍了质量可靠性整体解决方案（TSQ）的原理与实施案例，以供读者参考。

本书适用于产品设计和生产的相关人员，特别是一线的工程技术人员和品质人员使用，也可供高校教师、研究生参考，或作为培训教材使用。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

可靠性设计/谢少锋，张增照，聂国健编著；工业和信息化部电子第五研究所组编. —北京：电子工业出版社，2015.10

（可靠性技术丛书）

ISBN 978-7-121-27249-3

I. ①可… II. ①谢… ②张… ③聂… ④工… III. ①可靠性工程—设计 IV. ①TB114.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 226009 号

策划编辑：张 榕

责任编辑：底 波

印 刷：三河市双峰印刷装订有限公司

装 订：三河市双峰印刷装订有限公司

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

开 本：720×1 000 1/16 印张：42.75 字数：888 千字

版 次：2015 年 10 月第 1 版

印 次：2015 年 10 月第 1 次印刷

印 数：3 500 册 定价：138.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

可靠性技术丛书编委会

主 任 谢少锋

副主任 王 勇 陈立辉

委 员 (按姓氏笔画排序)

王晓晗 王蕴辉 刘尚文 纪春阳

张 铮 张增照 张德平 罗道军

赵国祥 胡湘洪 莫郁薇 恩云飞

潘 勇

丛 书 序

以可靠性为中心的质量是推动经济社会发展永恒的主题，关系国计民生，关乎发展大局。把质量发展放在国家和经济发展的战略位置全面推进，是国际社会普遍认同的发展规律。加快实施制造强国建设，必须牢牢把握制造业这一立国之本，突出质量这一关键内核，把“质量强国”作为制造业转型升级、实现跨跃发展的战略选择和必由之路。

质量是建设制造强国的生命线。作为未来10年引领制造强国建设的行动指南和未来30年实现制造强国梦想的纲领性文件，《中国制造2025》将“质量为先”列为重要的基本指导方针之一。在制造强国建设的伟大进程中，必须全面夯实产品质量基础，不断提升质量品牌价值和“中国制造”综合竞争力，坚定不移地走以质取胜的发展道路。


高质量是先进技术和优质管理高度集成的结果。提升制造业产品质量，要坚持从源头抓起，在产品的设计、定型、制造的全过程中按照先进的质量管理标准和技术要求去实施。可靠性是产品性能随时间的保持能力。作为衡量产品质量的重要指标，可靠性管理也充分体现了现代质量管理的特点。《中国制造2025》提出要加强可靠性设计、试验与验证技术开发应用，使产品的性能稳定性、质量可靠性、环境适应性、使用寿命等指标达到国际同类产品先进水平，就是要将可靠性技术作为核心应用于质量设计、控制和质量管理，在产品全生命周期各阶段，实施可靠性系统工程。

工业和信息化部电子第五研究所是国内最早从事电子产品质量与可靠性研究的权威机构，在我国的质量可靠性领域开创了许多“唯一”和“第一”：唯一一个专业从事质量可靠性研究的技术机构；开展了国内第一次可靠性培训；研制了国内第一套环境试验设备；第一个将质量“认证”概念引入中国；建立起国内第一个可靠性数据交换网；发布了国内第一个可靠性预计标准；研发出第一个国际先进、国内领先水平的可靠性、维修性、保障性工程软件和综合保障软件……五所始终站在可靠性技术发展的前沿。随着质量强国战略的实施，可靠性工作在我国得到空前的重视，在新时期的作用日益凸显。五所的科研工作者们深深感到，应系统地梳理可靠性技术的要素、方法和途径，全面呈现该领域的最新发展成果，使之广泛应用于工程实践，并在制造强国和质量强国建设中发挥应有作用。鉴于此，五所在建所60周年之际，组织专家学者编写出版了“可靠性技术丛书”。这既是历史的责任，又是现实的需要，具有重要意义。

“可靠性技术丛书”内容翔实，涉及面广，实用性强。它涵盖了可靠性的设计、工艺、管理，以及设计生产中的可靠性试验等各个技术环节，系统地论述了提升或

保证产品可靠性的专业知识，可在可靠性基础理论、设计改进、物料优选、生产制造、试验分析等方面为产品设计、开发、生产、试验及质量管理等从业者提供重要的技术参考。

质量发展依赖持续不断的技术创新和管理进步。以高可靠、长寿命为核心的高质量是科技创新、管理能力、劳动者素质等因素的综合集成。在举国上下深入实施制造强国战略之际，希望该丛书的出版能够广泛传播先进的可靠性技术与管理方法，大力推动可靠性技术进步及实践应用，积极推进专业队伍建设。帮助广大的科技工作者和工程技术人员，为我国先进制造业发展，落实好《中国制造 2025》发展战略，在新中国成立 100 周年时建成世界一流制造强国贡献力量！



前言

PREFACE

从进入 21 世纪开始，随着全球经济的普遍兴起，企业开始面临前所未有的全球竞争，产品研发面临“更便宜、更快捷、更可靠”的挑战，应对这些挑战需要一个有效的可靠性新思路。另外，国际企业逐步认识到，在产品寿命周期中，可靠性问题解决得越晚，其解决办法所支付的费用就越高。这使国际上很多企业不再被动地解决现场出现的可靠性问题，而是开始主动开展可靠性工作。这种模式的转变导致必须重视和导入的过程就是可靠性设计（DFR）。

“可靠性 3.0”这一词语的出现表明一个新的可靠性发展阶段到来了。笔者认为，“可靠性 3.0”的提法有一定的合理性，尤其是在当今数据非常丰富的信息时代，可靠性的思想和方法发生了许多变化。这个提法，对于我国企业开展和推进可靠性设计工作有现实的意义。因此，在本书的第 1 章，详细介绍了可靠性历史，并补充总结了可靠性 1.0 和 2.0 的核心特征，修改了可靠性 3.0 的核心特征表述。研究表明，TSQ[®]与可靠性 3.0 有异曲同工之妙，因此，在本书相关章节介绍了 TSQ[®]。

可靠性设计是可靠性工程最重要的组成部分，是提高产品固有可靠性的基本措施。就国内而言，介绍可靠性设计的书籍不少，但技术人员在实际工作中仍然感到迷茫，我认为这是由于缺少实际的工具和思路指导；另一方面，近几年有一个趋势，就是可靠性设计专家有从数学专家向产品设计和失效物理专家转变的趋势，这说明，当前的可靠性设计同产品的具体设计结合越来越紧密，也有同行提出了一体化设计的概念，这实际上是可靠性 3.0 的现象。但就技术人员而言，思想方法是必要的，技术如何实施、如何落地更加重要。就产品设计和品质管理一线的技术人员来说，他们更关注可靠性设计的管理流程和具体的设计技术如何应用，因此，在本书编写过程中，对可靠性设计领域比较成熟的理论和方法，一般直接给出结论，避免烦琐的理论推导和论述，力求简洁明了、通俗易懂。本书将重点放在介绍使用方法和操作步骤上，并尽量列举案例，使读者既能加深对原理的理解，又能联系实际工作案例开展相应工作。

需要指出的是，可靠性设计的实验验证是十分重要的内容，大家一般将其归结为可靠性试验的范畴，就本人个人的观点认为，将其纳入可靠性设计管理更符合产品设计流程。因为从国内目前可靠性实施的情况来看，许多设计人员不关注这个内

容，认为这是品质管理或可靠性管理的内容，同设计人员无关，在一定程度上削弱了可靠性设计验证试验同可靠性设计的密切联系，不利于根本原因分析和可靠性设计水平的提升。例如，有一个企业，一个设计反复修改了 20 次，原因是通不过试验验证，由于设计人员往往不参与或不关心设计验证试验，造成盲目修改，再盲目验证，这不但影响了产品的可靠性，还严重延长了研发周期。但是由于系列丛书的原因，可靠性试验由其他专辑专门介绍，此书不涉及。

可靠性设计主要由系统可靠性设计技术、电路可靠性设计技术、结构可靠性设计技术及软件可靠性设计技术等部分组成，专业范围很广，知识面也很广。我们组织了在相应领域有深入研究的技术人员参加编写，分别是：第 1、9、26 章由李萍、谢少锋、张增照编写；第 2 章由黄进永、聂国健、陈冰泉编写；第 3 章由黄进永、冯燕宽编写；第 4 章由于迪、任艳编写；第 5、8 章由冯燕宽、潘勇编写；第 6、7 章由黄智伟编写；第 10、14、15 章由张增照、周军连编写；第 11 章由许实清、余昭杰编写；第 12 章由莫富尧、许广宁、何胜宗编写；第 13 章由史典阳编写；第 16、22 章由范忠辉编写；第 17 章由黄创绵编写；第 18 章由朱嘉伟编写；第 19 章由王有亮编写；第 20 章由蔡金宝编写；第 21、25 章由郭远东编写；第 23 章由武慧薇编写；第 24 章由胡璇编写；许少辉、解江为第 26 章提供了案例。张增照负责全书的策划、组织、统稿工作，是本书的通信作者。谢少锋、聂国健负责全书的策划、审阅工作，其他同事负责相关章节的审阅、编辑、制图等工作，在此一并感谢。

在本书的编写过程中，参阅了诸多可靠性前辈和同行编写或提供的可靠性文献、资料，有些内容是得益于与他们的交谈心得，在此表示衷心感谢。

本书引用资料浩繁，参与撰写的单位和人员众多，加之我们的经验和知识有限，一定存在不少缺点和错误，敬请读者批评指正。

谢少锋 张增照 聂国健
2015 年 5 月 于广州

目录

CONTENTS

上篇 定量设计

第 1 章 概述	(2)
1.1 DfR 的概念与发展	(2)
1.1.1 DfR 的历史	(2)
1.1.2 可靠性 1.0 与 2.0 的核心特征	(5)
1.1.3 DfR、TSQ 与可靠性 3.0	(6)
1.1.4 DfR 的收益	(9)
1.2 DfR 关键流程	(11)
1.2.1 识别阶段	(11)
1.2.2 设计阶段	(13)
1.2.3 分析阶段	(14)
1.2.4 验证阶段	(16)
1.2.5 确认阶段	(17)
1.2.6 控制阶段	(17)
1.3 DfR 的实施原则	(18)
1.3.1 DfR 不是单独的活动	(18)
1.3.2 要充分估计现有的技术水平	(19)
1.3.3 准确掌握产品在运输、储存及使用中所遇到的环境和所处的状态	(19)
1.3.4 可制造性设计是可靠性设计的重要内容	(20)
1.3.5 可靠性定量活动应贯彻产品的研究和设计的始终	(21)
1.3.6 重视和加强设计阶段的可靠性管理	(21)
1.3.7 可靠性设计技术与管理同等重要	(22)
1.4 DfR 的计算机实现	(23)
1.5 DfR 的评估	(24)
1.5.1 利用 IEEE 1624 评估	(24)
1.5.2 利用 AIAG 计分评估法	(28)

1.6 本书的编排	(29)
参考文献	(30)
第2章 产品可靠性表征与寿命分布	(31)
2.1 产品的可靠性定义	(31)
2.1.1 规定的任务和功能	(32)
2.1.2 确定环境和使用条件	(32)
2.1.3 工作状态和任务时间	(32)
2.2 产品的可靠性指标	(32)
2.2.1 常用的可靠性指标	(33)
2.2.2 产品的寿命特征量	(35)
2.3 可靠性指标间的相互关系	(38)
2.4 产品的寿命分布	(40)
2.4.1 指数分布	(41)
2.4.2 正态分布	(42)
2.4.3 对数正态分布	(43)
2.4.4 威布尔 (Weibull) 分布	(43)
2.4.5 B10 寿命	(44)
2.5 浴盆曲线与失效率等级	(45)
2.5.1 失效率的单位	(46)
2.5.2 失效率的等级	(47)
2.6 维修度与有效度	(47)
参考文献	(49)
第3章 可靠性模型的建立	(50)
3.1 可靠性模型的作用与组成	(50)
3.2 基本可靠性模型和任务可靠性模型	(51)
3.2.1 基本可靠性模型	(51)
3.2.2 任务可靠性模型	(52)
3.2.3 基本可靠性与任务可靠性的区别和关系	(53)
3.2.4 基本可靠性和任务可靠性的权衡	(54)
3.3 系统可靠性模型	(54)
3.3.1 系统可靠性模型概述	(54)
3.3.2 串联系统	(55)
3.3.3 并联系统	(55)
3.3.4 循环工作的可靠性模型	(56)
3.3.5 表决系统 (n 中取 r 系统)	(57)

3.3.6	温储备系统	(57)
3.3.7	串联、并联系统可靠性的计算	(58)
3.3.8	冷储备系统	(59)
3.3.9	网络系统	(61)
3.3.10	共因故障模型	(63)
3.3.11	均分负载系统	(66)
3.3.12	储存可靠性模型	(67)
3.4	建立可靠性模型的程序和原则	(69)
3.4.1	建立程序	(69)
3.4.2	应用示例	(75)
3.4.3	可靠性建模工作的注意事项	(77)
	参考文献	(78)
第4章	可靠性预计	(79)
4.1	可靠性预计的意义和作用	(79)
4.1.1	可靠性预计的意义	(79)
4.1.2	可靠性预计的作用	(80)
4.2	可靠性预计的主要方法	(81)
4.2.1	基于数理统计可靠性预计法	(81)
4.2.2	失效物理分析法	(81)
4.2.3	相似预计法	(82)
4.2.4	相似复杂性法	(82)
4.2.5	功能预计法	(82)
4.2.6	上、下限法	(83)
4.3	可靠性预计标准的发展及其主要分类	(83)
4.4	可靠性预计一般程序	(87)
4.5	计数法可靠性预计	(88)
4.5.1	元器件计数法可靠性预计所需信息及方法	(88)
4.5.2	计数法用的数据表	(90)
4.5.3	预计示例	(91)
4.6	应力分析法可靠性预计	(96)
4.6.1	应力分析法的应用范围	(96)
4.6.2	电子设备可靠性预计示例	(96)
4.7	失效物理分析法的模型与应用	(106)
4.7.1	概述	(106)
4.7.2	失效物理模型示例	(107)

4.7.3 失效物理分析法应用示例	(109)
参考文献	(112)
第 5 章 可靠性分配	(114)
5.1 可靠性分配的目的和作用	(114)
5.2 可靠性分配考虑的因素	(114)
5.3 可靠性分配的原理和准则	(115)
5.4 可靠性分配的参数	(116)
5.5 可靠性分配的层次	(116)
5.6 可靠性分配的一般方法	(117)
5.6.1 等分配法	(117)
5.6.2 考虑重要度和复杂度的分配法 (AGREE 分配法)	(117)
5.6.3 ARINC 分配法	(118)
5.6.4 评分分配法 (目标可行性法)	(119)
5.6.5 比例组合分配法	(122)
5.6.6 最少工作量法 (可靠度再分配法)	(124)
5.6.7 直接寻查法	(126)
5.6.8 拉格朗日乘数法	(126)
5.6.9 基于遗传算法的可靠性分配方法	(128)
5.7 进行可靠性分配时的注意事项	(131)
参考文献	(131)
第 6 章 故障模式、影响及危害性分析 (FMECA)	(132)
6.1 FMECA 有关概念	(132)
6.2 FMECA 相关标准及应用	(133)
6.2.1 美国 FMECA 相关标准	(133)
6.2.2 欧洲等地区的 FMECA 标准	(134)
6.2.3 汽车行业等民用 FMECA 标准	(134)
6.2.4 国内 FMECA 标准	(135)
6.2.5 几个重要的 FMECA 标准介绍	(136)
6.2.6 FMECA 技术应用现状	(138)
6.3 FMECA 的作用	(140)
6.3.1 FMECA 在可靠性分析中的应用	(140)
6.3.2 FMECA 在维修性分析中的应用	(141)
6.3.3 FMECA 在安全性分析中的应用	(141)
6.3.4 FMECA 在测试性分析中的应用	(142)
6.3.5 FMECA 在保障性分析中的应用	(143)

6.4	FMECA 的实施要求	(144)
6.5	FMECA 的工作内容及方法应用	(145)
6.5.1	FMECA 的工作内容	(145)
6.5.2	FMECA 方法应用	(145)
6.5.3	功能及硬件 FMECA	(147)
6.5.4	软件 FMECA	(150)
6.5.5	损坏模式及影响分析 DMEA	(151)
6.5.6	过程 FMECA	(153)
6.6	FMECA 计划及流程	(154)
6.6.1	FMECA 工作计划流程	(154)
	参考文献	(160)
第 7 章	故障树分析	(161)
7.1	分析的概念	(161)
7.2	FTA 方法基础	(162)
7.2.1	FTA 分析中的标准符号	(162)
7.2.2	布尔代数运算法则	(164)
7.2.3	可靠性框图与 FTA	(165)
7.2.4	最小路集和最小割集	(165)
7.2.5	共同原因故障	(166)
7.2.6	结构重要度	(167)
7.2.7	概率重要度	(168)
7.3	故障树的一般方法	(169)
7.3.1	概述	(169)
7.3.2	故障树的建造和简化	(169)
7.3.3	定性分析——求最小割集	(171)
7.3.4	定量分析——计算顶事件发生的概率和重要度	(172)
7.4	故障树分析应用实例	(176)
7.4.1	压力罐系统建树过程	(176)
7.4.2	压力罐系统的故障树规范化和模块分解	(183)
7.4.3	压力罐系统故障树定性分析及其应用	(183)
7.4.4	压力罐系统的故障树定量分析	(186)
	参考文献	(187)
第 8 章	可靠性定量设计工具	(188)
8.1	概述	(188)
8.2	基本可靠性预计	(189)

8.2.1	功能概述	(189)
8.2.2	可靠性预计	(190)
8.2.3	不同设计方案的可靠性仿真	(195)
8.3	任务可靠性预计 (可靠性框图分析)	(196)
8.3.1	功能概述	(196)
8.3.2	RBD 的建立	(198)
8.3.3	RBD 节点与产品的关联	(201)
8.3.4	RBD 图形中多功能设备的设置	(202)
8.3.5	RBD 图分析与计算	(203)
8.3.6	RBD 图形和报表输出	(205)
8.4	可靠性分配	(205)
8.4.1	功能介绍	(205)
8.4.2	可靠性分配	(208)
8.4.3	可靠性分配结果的调整与验证	(209)
8.4.4	报表输出	(210)
8.5	故障模式、影响及危害性分析程序	(210)
8.5.1	功能简介	(210)
8.5.2	FMECA 基础数据预定义	(211)
8.5.3	自定义 FMECA 分析类型	(211)
8.5.4	FMECA 检查	(213)
8.5.5	定量计算	(214)
8.5.6	FMECA 报表输出	(214)
8.5.7	查看影响关系图	(216)
8.5.8	转为故障树	(216)
8.5.9	合并低层次数据	(216)
8.6	故障树分析程序	(217)
8.6.1	功能介绍	(217)
8.6.2	故障树记录管理	(217)
8.6.3	事件管理	(219)
8.6.4	故障树符号	(220)
8.6.5	故障树的建立	(222)
8.6.6	故障树分析、计算	(223)
8.6.7	故障树图形和报表输出	(224)
8.7	可靠性评估工具	(225)
8.7.1	功能介绍	(225)

8.7.2	评估图记录管理与图形编辑	(225)
8.7.3	试验数据管理	(226)
8.7.4	可靠性评估计算	(226)
	参考文献	(228)
第9章	可靠性定量设计流程与案例	(229)
9.1	可靠性定量设计流程	(229)
9.2	可靠性定量设计案例	(230)
9.2.1	企划与可靠性指标	(230)
9.2.2	产品认知	(230)
9.2.3	可靠性指标的分配	(231)
9.2.4	可靠性指标的预计	(232)
9.2.5	设计实现	(233)
9.2.6	FMEA	(236)
9.2.7	FTA	(242)
9.2.8	现场数据分析	(244)
	参考文献	(244)

下篇 定性设计

第10章	可靠性设计准则的制定与实施	(248)
10.1	可靠性设计准则的内涵	(248)
10.1.1	可靠性设计准则的定义	(248)
10.1.2	可靠性设计准则的作用	(249)
10.2	建立可靠性设计准则的步骤	(250)
10.3	可靠性设计准则制定中应注意的事项	(254)
10.3.1	处理好简化设计与“三化”的关系	(254)
10.3.2	设法消除降额设计中的“不愿”与“不会”	(255)
10.3.3	处理好容差设计中的长期稳定性与短期稳定性	(255)
10.3.4	切合实际的热设计就是好的热设计	(256)
10.3.5	静电防护的误区	(257)
10.3.6	软件可靠性设计是产品可靠性准则的重要内容	(258)
10.3.7	冗余设计的应用限制	(259)
10.3.8	潜在通路分析需引起注意	(260)
10.3.9	非电子产品更需要可靠性设计准则	(261)
	参考文献	(262)

第 11 章 元器件的选择与应用	(263)
11.1 元器件选择的基本要求	(263)
11.2 质量等级的选择	(266)
11.2.1 元器件质量等级的定义	(266)
11.2.2 国产电子元器件的质量等级	(266)
11.2.3 进口电子元器件的质量等级	(277)
11.2.4 元器件质量等级选择原则	(278)
11.3 封装结构的选择	(279)
11.4 元器件的合理选用	(281)
11.4.1 分立半导体器件的选用	(281)
11.4.2 集成电路的选用	(285)
11.4.3 电阻器与电位器的选用	(289)
11.4.4 电容器的选用	(293)
11.4.5 电感器的选用	(299)
11.4.6 继电器的选用	(299)
11.4.7 接插件的选用	(303)
11.4.8 电缆的应用注意点	(305)
参考文献	(306)
第 12 章 元器件的主要失效模式及其预防	(307)
12.1 元器件的失效物理模型	(307)
12.2 电子元件的主要失效模式及预防	(308)
12.2.1 电阻器	(308)
12.2.2 电容器	(309)
12.2.3 电感器	(312)
12.2.4 变压器	(313)
12.2.5 传感器和敏感元件	(315)
12.2.6 开关	(316)
12.2.7 继电器	(316)
12.2.8 熔断器	(320)
12.2.9 接插件	(321)
12.3 半导体分立器件的主要失效模式及其预防	(322)
12.3.1 分立器件的主要失效模式及预防	(322)
12.4 集成电路的主要失效模式及其预防	(323)
12.4.1 集成电路的分类	(323)
12.4.2 主要失效模式及其预防	(325)

12.4.3	集成电路的选用	(326)
12.5	晶振的主要失效模式及其预防	(327)
12.5.1	晶振的类型与主要参数	(327)
12.5.2	晶振的主要失效模式及其预防	(329)
12.6	光电子器件的主要失效模式及其预防	(330)
12.6.1	激光器	(330)
12.6.2	光电耦合器	(332)
12.6.3	光电显示器件	(333)
	参考文献	(337)
第 13 章	降额设计	(338)
13.1	降额设计的定义与合理应用	(338)
13.1.1	降额的有关定义	(338)
13.1.2	降额等级	(338)
13.1.3	降额等级的选择	(339)
13.1.4	应用降额技术应注意的问题	(341)
13.2	降额设计的理论依据	(342)
13.2.1	阿列尼乌斯方程	(342)
13.2.2	电应力降额的逆幂率法则	(343)
13.3	降额系数的确定	(343)
13.3.1	数学模型及 λ_{b-S-T} 关系图	(344)
13.3.2	降额曲线	(344)
13.3.3	降额图	(345)
13.3.4	降额因子	(347)
	参考文献	(353)
第 14 章	潮湿敏感器件的防护与管理	(354)
14.1	潮湿敏感器件的基础知识	(354)
14.1.1	潮湿敏感器件防护与管理的紧迫性	(354)
14.1.2	潮湿敏感器件的国际标准	(355)
14.1.3	潮湿敏感器件的等级划分	(356)
14.1.4	潮湿敏感器件的包装信息	(357)
14.2	潮湿敏感器件控制不当产生的潜在危害	(358)
14.2.1	导致潮湿敏感器件失效的因素	(358)
14.2.2	潮湿敏感器件产生危害的机理	(358)
14.2.3	潮湿敏感器件危害的表现形式	(359)
14.3	MSD 器件的烘烤方法	(359)