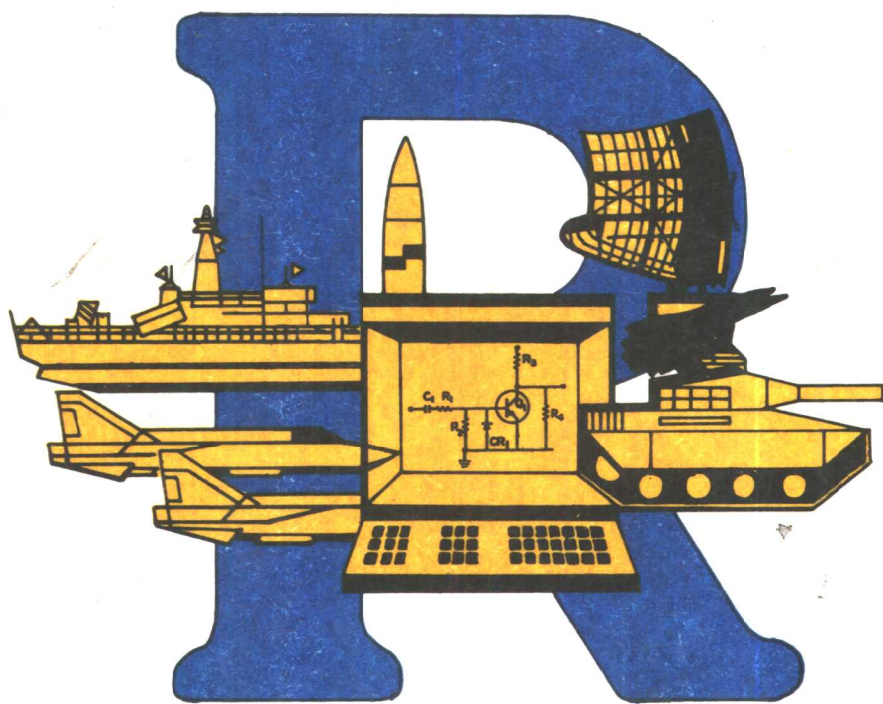


可靠性设计手册

RELIABILITY DESIGN HANDBOOK

第二卷

丁连芬 张永华等译



航空工业出版社

411179

可靠性设计手

第二卷

丁连芬 张永华 杨先振 译

张永华 丁连芬 曾天翔 校

航空工业出版社

1988

内 容 简 介

本手册全面地论述系统、设备和元器件的可靠性分析、设计和管理的理论及方法,并引用大量的计算和应用实例。全手册分为两卷,第一卷共12章,主要介绍可靠性及维修理论、可靠性指标的规定、可靠性分配及预计、可靠性工程设计方法、可靠性数据的收集及分析、软件可靠性、系统可靠性工程、生产及使用中的可靠性及维修性、可靠性及维修性的管理;第二卷共9章,主要介绍各种元器件的可靠性理论、可靠性设计方法、应用指南、采购过程的规范及控制、后勤保障、故障报告与分析。

本手册总结了美国30多年来可靠性工程发展的经验,反映了美国80年代可靠性设计水平,内容丰富、实用性强,可供从事航空、航天、造船、核能、电子、计算机、电力及机械等领域的工程技术人员和管理人员参考,也可供高等院校的教师、研究生和高年级学生参考,还可作为可靠性工程短训班的教材使用。

可靠性设计手册

第 二 卷

丁连芬 张永华 杨先振 译
张永华 丁连芬 曾天翔 校

航空工业出版社出版

(北京安定门外北苑大院2号)

新华书店北京发行所发行

航空工业出版社印刷厂印刷

1988年6月第1版 1988年6月第1次印刷

787×1092毫米¹/16 印张:18.5

印数:1-8000 字数:444千字

ISBN 7-80046-088-6/TN·005

定价:6.80元

译 者 的 话

可靠性工程已在我国迅速发展、日益普及、并得到越发广泛的应用，成为提高产品可靠性与质量、减少产品维修和保障费用的有效工具。可靠性设计是可靠性工程的一个重要分支、是提高产品可靠性的根本途径，必须从产品设计一开始就给以足够重视。本手册为从事科学研究、工程设计及技术管理的人员提供应用指南。本手册译自美国MIL-HDBK-338《电子设备可靠性设计手册》。

本手册第一卷的第1~6、8、11章由丁连芬译，第9、10、12章由曾天翔译，第7章由于敦、孙滨生、曾天翔合译，本卷由曾天翔和丁连芬合校；第二卷的第1~4章由丁连芬译，第6~8章由张永华译，第5章由丁连芬和张永华合译，第9章由杨先振译，本卷由张永华、丁连芬和曾天翔合校；全手册由曾天翔统稿。

本手册第一卷由航空工业部628所机载设备室主任丛选超初审，北京航空学院工程系统工程系主任兼可靠性工程研究所所长高级工程师杨为民、副教授屠庆慈、航空工业部301所可靠性与环境工程室主任毛黎明、高级工程师顾振中等复审；第二卷由曾天翔初审、丛选超复审。

在手册的出版中，得到航空工业部科技局、机载设备局、301所、628所等的有关领导的关心和支持，特此表示感谢。

美 国 国 防 部

华盛顿 DC 20301

电子设备可靠性设计手册

MIL-HDBK-338

1. 本标准化手册是由国防部根据规定的程序制定的，并已经批准供国防部所属各部、局使用。
2. 本手册于1984年10月15日批准印刷，并列入军用标准化手册系列。
3. 本手册已尽最大努力反映电子设备可靠性设计技术的最新信息。手册的制订单位将定期对本手册进行审查，以使其完善和通用。
4. 若有有益意见(建议、增补、删除)及其它有助于改进本手册的信息，请用本手册最后一页有收信地址的标准化文件改进建议表(DD表格1426)或以信件告知；空军系统司令部，罗姆航空发展中心司令，并注明地址：RBE-2, Griffiss Air Force Base, New York 13441。

引 言

1. 这本《电子设备可靠性设计手册》是在《可靠性设计手册》的基础上经过修改和扩充编制而成的。《可靠性设计手册》是于1976年由可靠性分析中心按罗姆航空发展中心的合同要求出版的。新版的手册包含有最新、最实用而且很贴切的指南,以使设计工程师、可靠性工程师及管理人员能够以最低的寿命周期费用设计、生产和使用可靠的和可维修的军用电子设备和系统。

2. 本手册在如何设计出具有持续工作能力(可靠性)和能够迅速诊断和排除故障(维修性)的电子设备所需遵循的原则方面与《可靠性设计手册》相比没有什么变化。然而,随着数字系统的发展、复杂的微型电路使用的增加和潜在的软件重要性以及电子设备复杂性的普遍提高,在过去的五年中,可靠性与维修性这两门学科都有了显著的进步,因而在这两门学科中出现了大量的新技术。这些新技术已编入本手册。

3. 本手册已经采取了措施,突出了实用的可靠性和维修性设计和管理技术,并且集中了大量示例,以供读者了解应当怎样应用这些技术。本手册预期提供足够的理论和实践信息,供读者解决经常会遇到的那些可靠性问题。也许有些读者会认为本手册在理论和数学方面对问题的阐述不充分;然而,由于本手册包括的范围很广,只好做某些牺牲。况且,还有许多很好的标准课本可以利用和参考,这些课本从理论和数学方面进行了很深刻的论述。另外,读者还可以借助参考文献综合目录,研究对自己解决那些必定会出现的问题所需要的技术。

4. 本手册介绍了一整套完善的研究方法,它包括电子系统可靠性设计工程和费用分析的各方面内容,这些内容涉及军用设备和系统的设计、采购和研制。读者对本手册研究越深入,就越会觉得它内容详尽、技术性强。本手册的前一部分谈的是基本概念,而后几章主要是讨论运用这些概念的具体方法。为了尽可能使每一章具有完整性,这种安排使得某些概念在手册中重复出现,并且不止在一处进行了讨论。这将便于读者在使用本手册研究某个问题时不必大量地参考以前的内容。

5. 为了尽量使本手册具有灵活性,它以活页的形式颁布。每一章在反映各有关分支的现代技术水平的时候,又是一个完整的统一体,并且具有独立性。因此,当每个分支的技术有了新的发展或新的分支成为有重要意义的分支时,现有的一些章节就可以删除、修订并按需要增补新的章节。

6. 本手册奉献给约瑟夫 J·内厄斯基先生,以纪念他为开辟可靠性领域及实现本手册的编制所做出的坚持不懈的努力和献身的精神。内厄斯基先生在本手册编制过程中做了大量的工作,他在可靠性理论和技术领域的丰富经验、杰出的贡献和渊博的知识引起了广泛的注意。他的参加及对可靠性界的影响将是无法泯灭的。

目 录

1.0 范围	(1)
1.1 一般信息	(2)
1.1.1 元器件可靠性历史	(2)
1.1.1.1 引言	(2)
1.1.1.2 真空管时代 (1940~1950)	(2)
1.1.1.3 可靠性的10年和晶体管的崛起 (1950~1960)	(3)
1.1.1.4 集成电路的10年 (1960~1970)	(5)
1.1.1.5 大规模集成电路的10年 (1970~1980)	(6)
1.1.1.6 超大规模集成电路 (VLSI) 和超高速集成电路 (VHSIC) 的 10年 (1980~)	(7)
1.1.1.7 结束语	(8)
1.1.2 采用可靠元器件的必要性	(8)
1.1.2.1 引言	(8)
1.1.2.2 元器件的安全性	(9)
1.1.2.3 不可修复设备的情况	(9)
1.1.2.4 关键功能的应用	(10)
1.1.2.5 元器件寿命周期费用	(10)
1.1.3 目前的技术水平	(12)
1.1.3.1 半导体技术和材料	(12)
1.1.3.1.1 半导体器件的类别	(12)
1.1.3.2 半导体器件的材料和制造过程	(13)
1.1.3.2.1 照像制造法	(13)
1.1.3.2.2 光刻法	(14)
1.1.3.2.3 膜式集成电路	(14)
1.1.3.3 封装方法	(15)
1.1.3.4 电子元器件的试验方法	(16)
1.1.4 发展趋势	(17)
1.1.4.1 超高速集成电路	(18)
1.1.4.2 其它新技术	(19)
参考文献	(21)
2.0 参照文件	(23)
2.1 文件版本	(23)
3.0 定义	(28)
4.0 可靠性理论	(31)

4.1 引言	(31)
4.1.1 定义	(31)
4.2 概率分布	(31)
4.2.1 概述	(31)
4.2.2 可靠性分析中应用的分布	(32)
4.2.2.1 指数分布	(33)
4.2.2.2 对数正态分布	(34)
4.2.2.3 威布尔分布	(34)
4.2.2.4 伽玛分布	(39)
4.2.3 置信区间	(40)
4.2.3.1 指数分布均值的置信度	(40)
4.2.4 统计质量控制	(41)
4.3 失效率与温度的关系	(42)
4.3.1 阿列尼厄斯模型	(42)
4.3.2 艾林模型	(43)
4.3.3 激活能	(43)
参考文献	(44)
5.0 元器件可靠性设计考虑	(45)
5.1 元器件的选择与控制	(45)
5.1.1 元器件控制	(45)
5.1.2 元器件选择	(47)
5.1.2.1 微型电路可靠性估计程序和半导体器件可靠性估计程序	(47)
5.1.3 元器件的批准	(48)
5.1.3.1 元器件的合理性	(48)
5.1.3.2 元器件的应用	(48)
5.1.3.3 元器件参数	(48)
5.1.4 关键元器件	(49)
5.1.5 失效率预计	(50)
5.1.5.1 MIL-HDBK-217电子设备可靠性预计	(50)
5.2 元器件选择准则	(51)
5.2.1 微型电路	(51)
5.2.1.1 选择准则	(52)
5.2.1.2 应用考虑	(56)
5.2.1.3 通用线性集成电路的应用说明	(68)
5.2.1.4 通用数字微型电路的应用信息	(76)
5.2.1.5 通用大规模集成微型电路的应用信息	(83)
5.2.1.6 微处理器、微型计算机和位片处理机	(85)
5.2.1.7 降额	(91)
5.2.2 分立半导体器件	(91)

5.2.2.1	引言	(91)
5.2.2.2	器件的选择	(91)
5.2.2.3	一般应用信息	(92)
5.2.2.4	降额	(103)
5.2.3	电阻器	(108)
5.2.3.1	引言	(108)
5.2.3.2	选择	(108)
5.2.3.3	一般应用信息	(112)
5.2.3.4	MIL-R-19 RA 型低工作温度的线绕可变电阻器	(116)
5.2.3.5	MIL-R-22 RP 型功率型非封闭式线绕可变电阻器	(117)
5.2.3.6	MIL-R-26 RW 型功率型线绕固定电阻器	(117)
5.2.3.7	MIL-R-94 RV 型合成可变电阻器	(117)
5.2.3.8	MIL-R-11804 RD 型功率型非绝缘膜式固定电阻器	(118)
5.2.3.9	MIL-R-12934 RR 型精密线绕可变电阻器	(118)
5.2.3.10	MIL-R-18546 RE 型功率型底座安装线绕固定电阻器	(119)
5.2.3.11	MIL-R-22097 RJ 型调节型非线绕可变电阻器	(119)
5.2.3.12	MIL-R-23285 RVC 型非线绕可变电阻器	(120)
5.2.3.13	MIL-R-27208 RT 型调节型线绕可变电阻器	(120)
5.2.3.14	MIL-R-39002 RK 型半精密线绕可变电阻器	(121)
5.2.3.15	MIL-R-39005 有可靠性要求的RBR型精密线绕固定电阻器	(121)
5.2.3.16	MIL-R-39007 有可靠性要求的RWR型功率型线绕固定电阻器	(121)
5.2.3.17	MIL-R-39008 有可靠性要求的RCR型绝缘合成固定电阻器	(122)
5.2.3.18	MIL-R-39009 有可靠性要求的RER型功率型底座安装线绕固定电阻器	(122)
5.2.3.19	MIL-R-39015 有可靠性要求的RTR型螺杆驱动线绕可变电阻器	(123)
5.2.3.20	MIL-R-39017 有可靠性要求的RLR型绝缘的膜式固定电阻器	(123)
5.2.3.21	MIL-R-39023 RQ 型精密非线绕可变电阻器	(124)
5.2.3.22	MIL-R-39035 有可靠性要求的RJR型螺杆驱动非线绕可变电阻器	(125)
5.2.3.23	MIL-R-55182 有可靠性要求的RNR型膜式固定电阻器	(125)
5.2.3.24	MIL-R-55342 有可靠性要求的片状膜式固定电阻器	(126)
5.2.3.25	MIL-R-83401 RZ 靠膜式固定电阻器网络	(126)
5.2.3.26	MIL-T-23648 RTH 型绝缘热敏电阻器	(127)
5.2.4	电容器	(127)
5.2.4.1	引言	(127)
5.2.4.2	电容器选择	(129)
5.2.4.3	一般应用考虑	(135)

5.2.4.4	MIL-C-20 有可靠性要求的CCR型瓷介温度补偿固定电容器	(138)
5.2.4.5	MIL-C-81 CV型瓷介可变电容器	(139)
5.2.4.6	MIL-C-10950 CB型钮扣式云母介质固定电容器	(139)
5.2.4.7	MIL-C-11015 CK型通用瓷介固定电容器	(139)
5.2.4.8	MIL-C-14409 PC型活塞式管状微调可变电容器	(139)
5.2.4.9	MIL-C-19978 有可靠性要求的COR型金属壳气密封塑料 (或纸—塑料) 介质固定电容器	(139)
5.2.4.10	MIL-C-23183 CG型气体或真空介质、陶瓷或玻璃外壳固定 或可变电容器	(140)
5.2.4.11	MIL-C-23269 有可靠性要求的CYR型玻璃介质固定电容器	(141)
5.2.4.12	MIL-C-39001 有可靠性要求的CMR型云母介质固定电容器	(141)
5.2.4.13	MIL-C-39003 有可靠性要求的CSR型固体电解质钽电解固定 电容器	(141)
5.2.4.14	MIL-C-39006 有可靠性要求的CLR型非固体电解质钽电解 固定电容器	(141)
5.2.4.15	MIL-C-39014 有可靠性要求的CKR型通用瓷介固定电容器	(142)
5.2.4.16	MIL-C-39018 有可靠性和无可靠性要求的CU和CUR型铝 氧化物电解固定电容器	(143)
5.2.4.17	MIL-C-39022 有可靠性要求的CHR型气密封金属外壳金属化 纸塑料薄膜或塑料介质交直流固定电容器	(143)
5.2.4.18	MIL-C-55365 有可靠性要求的CWR型片状钽固定电容器	(144)
5.2.4.19	MIL-C-55514 有可靠性要求的CFR型非金属外壳塑料或金属 化塑料介质直流固定电容器	(144)
5.2.4.20	MIL-C-55681 有可靠性要求的CDR型片状多层瓷介固 定电容器	(144)
5.2.4.21	降额因子	(144)
5.2.5	磁性元件	(145)
5.2.5.1	引言	(145)
5.2.5.2	元件选择	(146)
5.2.5.3	一般应用考虑	(148)
5.2.6	继电器	(149)
5.2.6.1	引言	(149)
5.2.6.2	继电器选择	(150)
5.2.6.3	应用考虑	(151)
5.2.7	开关	(155)
5.2.7.1	引言	(155)
5.2.7.2	开关选择	(156)
5.2.7.3	应用考虑	(158)
5.2.7.4	环境考虑	(160)

5.2.7.5 降额	(160)
5.2.8 电连接器	(161)
5.2.8.1 引言	(161)
5.2.8.2 连接器选择	(161)
5.2.8.3 降额要求	(169)
5.2.9 电子管	(170)
5.2.9.1 引言	(170)
5.2.9.2 电子管选择准则	(170)
5.2.9.3 失效模式和机理	(171)
5.2.10 电缆	(171)
5.2.10.1 引言	(171)
5.2.10.2 选择	(171)
5.2.10.3 选择和应用考虑	(172)
5.2.11 电-光学或纤维光学	(173)
5.2.11.1 引言	(173)
5.2.11.2 规范和标准	(173)
5.2.12 印制电路	(175)
5.2.12.1 引言	(175)
5.2.12.2 印制电路设计和处理准则	(175)
5.2.12.3 元器件安装(焊接)	(177)
5.2.12.4 印制电路板的选择	(177)
5.2.13 标准电子模块(SEM)计划	(179)
5.2.13.1 引言	(179)
5.2.13.2 SEM计划的目标	(179)
5.2.13.3 标准电子模块的选择和使用准则	(179)
5.2.13.4 SEM计划的要求	(179)
5.2.13.5 质量和可靠性	(180)
参考文献	(180)
6.0 应用指南	(182)
6.1 环境考虑	(182)
6.1.1 耐环境特性	(182)
6.1.2 环境因素	(182)
6.1.2.1 温度影响	(183)
6.1.2.2 机械冲击	(184)
6.1.2.3 潮气和盐雾	(184)
6.1.2.4 电磁和核辐射	(184)
6.1.2.5 其它应力因素	(185)
6.1.3 耐环境措施	(185)
6.1.3.1 热防护	(185)

6.1.3.2	机械防护	(187)
6.1.3.3	冲击和振动防护	(187)
6.1.3.4	湿度、盐雾和砂尘的防护	(188)
6.1.3.5	辐射防护	(188)
6.1.4	组装的一般考虑	(188)
6.1.5	生产环境应力	(189)
6.1.6	静电放电控制 (ESD)	(190)
6.1.6.1	引言	(190)
6.1.6.2	静电放电敏感元器件的失效类型、失效模式和失效机理	(190)
6.1.6.3	失效模式和机理	(191)
6.1.6.4	静电放电敏感度试验 (VZAP试验)	(192)
6.1.6.5	静电放电防护器材和设备	(192)
6.1.6.6	设计中的静电放电防护措施	(196)
6.1.6.7	静电放电控制计划	(197)
6.1.6.8	资料来源	(198)
6.2	可靠电路设计指南	(198)
6.2.1	电降额	(198)
6.2.2	热设计	(203)
6.2.2.1	温度对可靠性的影响	(203)
6.2.2.2	热和传热理论	(204)
6.2.3	可靠热设计指南	(206)
6.2.3.1	冷却方法的限制	(206)
6.2.3.2	元器件的位置和布局	(207)
6.2.3.3	元器件安装	(208)
6.2.4	热设计的管理	(209)
6.2.5	当前技术水平的限制	(211)
	参考文献	(211)
7.0	采购期间的技术要求和控制	(212)
7.1	元器件筛选	(212)
7.1.1	筛选的理论和目的	(212)
7.1.2	元器件筛选的设计	(213)
7.1.2.1	有可靠性要求的无源元件	(214)
7.1.2.2	JAN、JANTX、JANTXV和JANS半导体	(214)
7.1.2.3	微型电路的质量和可靠性等级	(220)
7.1.3	筛选的费用效能	(222)
7.2	微型电路测试	(229)
7.2.1	测试概念	(229)
7.2.1.1	逻辑整体测试	(230)
7.2.1.2	交流测试	(230)

7.2.1.3 直流(静态)测试	(230)
7.2.2 存储器测试	(231)
7.2.3 大规模集成电路的随机逻辑测试	(233)
7.3 可靠元器件的管理	(234)
7.3.1 元器件选择和控制	(235)
7.3.2 可靠性计划	(235)
参考文献	(236)
8.0 后勤保障	(237)
8.1 贮存	(237)
8.1.1 元器件贮存的一般考虑	(239)
8.1.2 微型电路贮存特性	(240)
8.1.3 分立半导体贮存特性	(242)
8.1.4 电阻器贮存环境	(242)
8.1.5 电容器贮存特性	(243)
8.1.6 电感性器件贮存特性	(244)
8.1.7 印制电路贮存特性	(245)
8.1.8 防护方法	(245)
8.2 备件供应	(246)
8.2.1 已装备的军用设备和系统的元器件控制	(246)
8.2.1.1 主要武器系统的元器件控制	(246)
8.2.1.2 空军的备件要求	(246)
8.2.2 备件供应方法	(247)
8.2.2.1 备件和维修设施的优化	(248)
8.2.2.1.1 问题	(248)
8.2.2.1.2 问题的求解	(249)
8.2.2.1.3 修理设施	(254)
参考文献	(255)
9.0 故障报告和分析	(256)
9.1 故障报告	(256)
9.1.1 闭环故障报告和改正措施系统	(256)
9.1.2 故障报告系统	(258)
9.1.3 故障报告表	(258)
9.1.4 数据收集和保存	(258)
9.1.4.1 用户数据报告系统	(258)
9.2 故障分析	(264)
9.2.1 故障分析的一般考虑	(265)
9.2.2 故障分析仪器	(265)
9.2.3 由故障分析获得的信息	(269)
9.2.4 零件故障的共同原因	(269)

9.2.5 故障种类.....	(269)
参考文献	(270)
附录A 影响元器件失效率的因素.....	(271)
附录B 电子管的基本失效率（包括偶然和耗损失效）	(273)

表 目 录

1.1.2.3-1	元器件类型及筛选标志	(10)
1.1.2.4-1	在元器件或电路不同组装等级排除失效所需费用	(10)
1.1.2.5-1	文件编制费用(非标准元器件)	(11)
1.1.2.5-2	非标准元器件鉴定或试验费用	(11)
1.1.2.5-3	非标准元器件后勤保障费用	(11)
1.1.3.4-1	环境试验方法(100类)	(16)
1.1.3.4-2	物理特性试验方法(200类)	(16)
1.1.3.4-3	电特性试验方法(300类)	(16)
1.1.4-1	小型化趋势	(18)
4.2.2.3-1	估计平均寿命百用的分比	(37)
4.2.2.3-2	失效前时间、秩序号、百分位	(37)
5.1-1	元器件选择和控制基本规则	(45)
5.2.1.1-1	微型电路选择准则	(51)
5.2.1.1.2-1	LSI组件特性	(58)
5.2.1.2.3-1	电阻器比较图	(62)
5.2.1.2.3-2	用于数据转换的电容器	(64)
5.2.1.2.3-3	精密电阻器温度考虑	(65)
5.2.1.2.3-4	印制电路板改善电性能的机会和缺陷	(66)
5.2.1.2.3-5	要求慎重使用印制电路技术的典型场合	(66)
5.2.1.2.3-6	印制电路板应用辅助手段	(66)
5.2.1.3-1	数目147的A/D转换	(74)
5.2.1.7-1	线性微型电路降额	(91)
5.2.1.7-2	数字微型电路降额	(91)
5.2.1.7-3	混合器件降额	(91)
5.2.2.2-1	半导体器件选择准则	(92)
5.2.2.4-1	晶体管降额因子	(103)
5.2.2.4-2	二极管降额	(104)
5.2.3.2-1	电阻器选择准则	(108)
5.2.3.2-2	电阻器应用和选择	(108)
5.2.4.2-1	电容器选择准则	(129)
5.2.4.2-2	电容器的选择和使用指南	(120)
5.2.4.21-1	电容器降额	(144)
5.2.5.2-1	磁性元件选择准则	(146)
5.2.5.2-2	磁性元件的选择和使用指南	(146)
5.2.5.2-3	规范规定的使用期和环境引起的参数变化	(148)
5.2.5.3-1	变压器、电感器和线圈的降额准则	(149)

5.2.5.3-2	对应于变压器、电感器和线圈中所用导线尺寸的电流降额值	(149)
5.2.6.2-1	继电器的功能及其选择指南	(150)
5.2.6.2-2	继电器选择准则	(150)
5.2.6.3-1	适用于继电器的军用规范	(151)
5.2.6.3-2	降额因子	(153)
5.2.7.2-1	几种开关选择准则	(156)
5.2.7.2-2	开关的使用和选择指南	(156)
5.2.7.5-1	降额	(161)
5.2.8.2-1	连接器选择准则	(161)
5.2.8.2-2	电连接器选择和使用指南	(162)
5.2.8.3-1	连接器降额(海平面)	(169)
5.2.8.3-2	不同高度的电压降额	(170)
5.2.9.2-1	电子管选择准则	(171)
5.2.10.2-1	电缆选择准则	(171)
5.2.11.2-1	军用规范和标准	(174)
5.2.12.2-1	印制电路的设计和处理准则	(176)
5.2.12.2-2	焊料连接的材料和工艺准则	(176)
5.2.12.4-1	互连组件使用和选择指南	(178)
5.2.13.3-1	标准电子模块的选择和使用准则	(180)
6.1.2-1	电子设备的环境应力、影响和可靠性提高方法	(182)
6.1.3.1-1	元器件在低温下使用时可能得到的可靠性改善(以失效率表示)	(186)
6.1.3.1-2	减少元器件过热的设计指南	(187)
6.1.4-1	组装方法对比	(189)
6.1.6.5-1	摩擦生电样本材料系列	(195)
6.2.1-1	分立半导体器件基本失效率参数	(199)
6.2.1-2	第一组晶体管(硅, NPN)的基本失效率	(200)
6.2.3.1-1	采用普通冷却方法时每单位面积的最大热耗散量	(206)
6.2.3.1-2	模块式微电子器件采用强迫空气冷却方法的限制	(206)
6.2.3.1-3	各种冷却方法的限制	(207)
7.1.2.1-1	MIL-STD-202试验方法一览表	(215)
7.1.2.2-1	失效率的相对差别	(218)
7.1.2.2-2	MIL-STD-750的分立半导体器件试验方法	(218)
7.1.2.3-1	MIL-STD-883的微型电路试验方法	(221)
7.1.3-1	微型电路缺陷和筛选	(222)
7.1.3-2	筛选法比较	(224)
7.1.3-3	MIL-STD-883 50°C法的筛选顺序	(228)
7.1.3-4	MIL-STD-883试验的效果	(228)
7.1.3-5	B类器件的筛选试验费用	(229)
7.2.2-1	测试方法比较	(232)

7.2.2-2 各种测试类型的成功率比较.....	(238)
8.1-1 电子元器件在贮存期间的失效模式.....	(238)
8.1.2-1 数字和线性器件的主要失效机理.....	(241)
8.1.2-2 金属氧化物半导体小规模集成/中规模集成器件的失效模式和机理 的信息记录	(241)
8.1.2-3 存储器/大规模集成器件的失效模式和机理的信息记录	(241)
8.1.5-1 固体钽电容器的失效机理分析.....	(243)
8.1.5-2 钽箔电容器的失效机理分析.....	(244)
8.1.6-1 受各种使用和贮存条件影响的失效模式.....	(244)
8.2.2.1.1-1 雷达的主要组件.....	(248)
8.2.2.1.1-2 数字印制电路板数量.....	(249)
8.2.2.1.1-3 维修方针.....	(249)
8.2.2.1.2-1 转换矩阵.....	(252)
9.2.2-1 初步故障分析实验室.....	(269)
附录A.....	(271)
1 影响失效率的因素	(271)
2(a)电阻器	(271)
2(b)电容器	(272)
2(c)继电器、开关和连接器	(272)
3 半导体器件的其它失效率影响因素	(272)
4 单片和混合微型电路的其它失效率因素	(272)
5 微型电路的熟练因子/失效率系数	(272)