

[美] R.T.安德森 主编

可靠性设计手册

曾纪科 杨启善 苏德清
韩卓人 孟勤一 丁连芬 译校

国防工业出版社

14

10

可靠性设计手册

〔美〕 R.T.安德森 主编

曾纪科 杨启善 苏德清
韩卓人 孟勤一 丁连芬 译校

国防工业出版社

内 容 简 介

本手册是美国军用电子设备可靠性设计的一本工具书。它以机载电子设备为例,阐述了军用电子设备可靠性的基本概念,概要地介绍了可靠性工程的各个方面,诸如可靠性预计、可靠性试验和可靠性管理的基本方法等。本手册还提供了大量与可靠性设计有关的设计资料、系数、参数以及其它技术数据。方法较具体,内容较丰富,有一定的实用价值。

本书可供从事电子产品科研和生产的技术人员、从事可靠性工程的专业人员和技术管理干部参考使用。

RELIABILITY DESIGN HANDBOOK

R. T. Anderson

Reliability Analysis Center

1976

*

可靠性设计手册

〔美〕 R. T. 安德森 主编

曾纪科 杨启善 苏德清 译校

韩草人 孟勤一 丁连芬

国防工业出版社 出版

〔华〕书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 13 292 千字

1981年7月第一版 1985年11月第二次印刷 印数: 7801—10800册

统一书号: 15034·2208 定价: 2.05元

译 序

为了适应我国开展可靠性工作的需要,满足广大读者的愿望,我们翻译了美国 1976 年 3 月出版的安德森主编的《可靠性设计手册》。这本手册实用性较强,基本上反映了美国七十年代中期的最新水平。这类手册在国际上还不多见,在国内还没有见到类似手册的译本。

本手册提供了大量与可靠性设计有关的设计资料、系数、参数以及其它技术数据。此外,本手册介绍了可靠性设计途径,其中包括理论与费用考虑,还介绍了诸如元件的选择与管理、减额使用、环境保护、贮备设计及费用设计等方法。

本手册是一种设计工具书,主要供军用电子设备的设计者,特别是机载电子设备的设计者使用;对于从事可靠性工程的专业人员、技术管理干部均有一定的参考价值。

对原书中的各种错误,我们在译校过程中尽量作了改正,并加了译注。但由于水平有限,书中仍难免有错误,希望读者批评指正。

目 录

第一章 引言	1
1.1 目的和范围	1
1.2 可靠性工程介绍	1
1.2.1 可靠度和寿命特性	1
1.2.2 可靠性退化	5
1.2.3 可靠性增长	5
1.3 本书的内容	6
参考文献	7
第二章 可靠性理论及应用	8
2.1 可靠性基本理论	8
2.1.1 指数失效模型	8
2.1.2 建立设备可靠性模型的方法	10
2.1.3 建立元件失效模型的方法	16
2.2 可靠性管理	19
2.3 研制阶段可靠性评价方法	22
2.3.1 预计方法	23
2.3.2 失效形式分析方法	26
2.3.3 可靠性试验	29
参考文献	32
第三章 军用机载电子系统	33
3.1 机载电子设备的发展趋向	33
3.2 机载电子设备的环境	37
3.3 设备可靠性的技术现状	40
3.4 总结和结论：1975年机载电子设备的发展趋向	41
参考文献	42
第四章 可靠性设计	43
4.1 最大限度提高固有可靠性的设计	43
4.1.1 元器件的选择与管理	43
4.1.1.1 元器件管理	44
4.1.1.2 元器件选择准则	46
4.1.1.3 元器件筛选	63
4.1.2 减额	70
4.1.2.1 温度-应力因素	71
4.1.2.2 特定减额准则	74
4.1.3 环境防护	88

4.1.3.1 环境因素	88
4.1.3.2 环境保护措施	90
4.1.3.3 对封装的一般考虑	93
4.1.4 贮备设计	94
4.1.4.1 基本概念	94
4.1.4.2 贮备技术	99
4.1.4.3 设计实例	104
4.1.5 设计的简化与分析	111
4.1.5.1 设计的简化	111
4.1.5.2 退化分析	113
4.1.5.3 过应力与瞬变分析	117
4.2 使生产和使用过程中的可靠性退化减至最少的设计	127
4.2.1 造成可靠性退化的因素	128
4.2.2 便于检查和维修的设计	130
4.2.2.1 硬件分单元设计	131
4.2.2.2 故障的判断	133
4.2.2.3 早期失效预计	135
4.3 费用设计	137
4.3.1 费用设计概述	137
4.3.2 费用和可靠性指标的确定	142
4.3.2.1 方案论证和审批阶段	143
4.3.2.2 研制与生产阶段	146
4.3.2.3 平衡设计管理	153
4.3.3 满足费用和可靠性指标要求	155
参考文献	162
附录A 定义、缩写词	166
附录B 参考文献介绍	172
附录C 单片微电路的失效率	180
附录D 标准电子管的特性与失效率	193

插图目录

1-1	寿命特性曲线	2
1-2	应力与强度分布	3
1-3	设计和研制阶段可靠性增长过程	6
2-1	各种失效成分	8
2-2 a	任务完成、设备性能和电路可靠度之间的关系	11
2-2 b	任务完成、设备性能和电路可靠度之间的关系 (续)	12
2-3	B-1 飞机计算机控制的完整的攻击用机载电子系统方框图	15
2-4	系统可靠度的计算	16
2-5	元器件失效模型	17
2-6	产品寿命期的可靠性活动	21
2-7	可靠性程序的内容	22
2-8	可靠性评价方法分类	23
2-9	应力分析-可靠性预计计算表	25
2-10	雷达系统预计方法阶段进展图	26
2-11	失效形式、影响和严重程度分析登记表	27
2-12	故障树分析	28
2-13	可靠性增长图	30
2-14	可靠性试验方式	32
3-1	元器件用量估计	33
3-2	AWG-9 雷达系统	34
3-3	数字式机载电子设备的进展	37
3-4	机载电子设备的温度与高度组合示意图	39
3-5	机载电子设备的振动要求	39
3-6	机载电子设备的可靠性(模拟)	40
4-1	设计平衡措施	43
4-2	电流对工作寿命的影响 (典型特性)	62
4-3	可靠性筛选	64
4-4	筛选效果	69
4-5	I 类晶体管 (硅 NPN) 基本失效率与电应力、温度的关系图	73
4-6	典型减额图	73
4-7	实际恒定结温曲线	74
4-8	1N3263 功率二极管的多点减额曲线	74

4-9	最大工作结温 125°C 的微电路减额图	76
4-10	最大工作结温 150°C 的微电路减额图	76
4-11	最大工作结温 175°C 的微电路减额图	77
4-12	最大工作结温 100°C 的半导体器件减额图	77
4-13	最大工作结温 125°C 的半导体器件减额图	78
4-14	最大工作结温 150°C 的半导体器件减额图	78
4-15	最大工作结温 175°C 的半导体器件减额图	79
4-16	最大工作结温 200°C 的半导体器件减额图	79
4-17	RCR 型炭合成固定电阻器减额图	80
4-18	RLR、RNR 型金属膜固定电阻器减额图	80
4-19	RER、RWR 型功率线绕电阻器减额图	81
4-20	RBR 型精密线绕电阻器减额图	81
4-21	CM 型云母电容器减额图	82
4-22	温度补偿陶瓷电容器减额图	82
4-23	最高工作温度 125°C 的 CPV、CH 型塑料纸介或金属化纸介电容器减额图	83
4-24	空气微调电容器减额图	83
4-25	最高工作温度 85°C 的 GP 型陶瓷电容器减额图	84
4-26	最高工作温度 125°C 的 GP 型陶瓷电容器减额图	84
4-27	CPV、CH 型塑料纸介或金属化纸介电容器减额图	85
4-28	CLR 型液体钽电解电容器减额图	85
4-29	CSR 型固体钽电解电容器减额图	86
4-30	CY 型玻璃电容器减额图	86
4-31	贮备技术	94
4-32	工作贮备单元数量增加对提高可靠性的影响	98
4-33	简单并联贮备单元失效后的修复对可靠性的提高	98
4-34	简单并联贮备	99
4-35	混合式贮备	100
4-36	双重贮备	101
4-37	多数表决贮备	102
4-38	非工作贮备	103
4-39	精密稳压电源	104
4-40	有贮备的稳压电源	105
4-41	简单并联贮备与无贮备的稳压电源可靠度的比较	105
4-42	晶体管基本电路	106
4-43	四重贮备晶体管电路	106
4-44	四重贮备与无贮备晶体管电路可靠度的比较	107
4-45	除 8 计数器电路	107
4-46	三中取二多数表决贮备除 8 计数器	108
4-47	贮备与无贮备除 8 计数器结构可靠度的比较	109
4-48	无贮备的射频放大器信道	109
4-49	非工作贮备双信道射频接收机	110

4-50	有贮备及无贮备的射频接收机信道可靠度的比较	110
4-51	逻辑单元的布尔简化	112
4-52	滤波器的替换结构	113
4-53	由老化引起的特性退化	114
4-54	1/8瓦金属膜固定电阻器 2000 小时工作期间的阻值变化 (阻值变化百分比).....	115
4-55	低电平集成电路的矩形脉冲触发电压	118
4-56	门锁响应	118
4-57	2N2222型晶体管过应力失效数据	119
4-58	8个晶体管的过应力失效数据	119
4-59	晶体管保护电路	120
4-60	可控硅保护电路	120
4-61	CMOS保护电路	121
4-62	CMOS器件使用注意事项	121
4-63	TTL器件保护电路	121
4-64	二极管保护电路	121
4-65	脉冲波形	122
4-66	线绕电阻器峰值脉冲电压	122
4-67	金属膜电阻器峰值脉冲电压	123
4-68	碳合成电阻器峰值脉冲电压	123
4-69	脉冲宽度与最大脉冲电压	124
4-70	固体钽电容器 (工作电压为 35 伏直流) 失效所需的反极性能量图	125
4-71	电容器脉冲响应	126
4-72	质量缺陷故障树	130
4-73	模件化设计	131
4-74	功能模件化设计	132
4-75	美国国防部财力分配方案	138
4-76	计划指标 (平衡设计) 的权衡关系	139
4-77	可靠性、维修性和费用的计算方法	139
4-78	费用与可靠性的关系	145
4-79	费用与维修性的关系	145
4-80	最佳费用分配方法	146
4-81	费用设计程序阶段划分图	147
4-82	预计费用设计格式	148
4-83	整机按结构件核算法	150
4-84	行列式可更换单元的生产费用	151
4-85	资料管理体系登记卡	154
4-86	资料管理体系资料流程图	154
4-87	元器件标准化和费用的节约	158
4-88	各种图纸的图纸标准化比较图	158
4-89	老炼试验对生产的影响	160
4-90	预计的平均无故障工作时间与费用的关系	162

表格目录

2-1	环境代号及说明	18
2-2	元器件的质量等级	18
2-3	质量系数 π_0	18
2-4	元器件失效率的计算示例	19
3-1	机载电子设备装备表	35
3-2	AWG-9 雷达系统	36
3-3	环境条件	38
4-1	元器件选择与管理基本准则	44
4-2	微电路选择准则	47
4-3	集成电路应用说明	47
4-4	半导体器件选择准则	50
4-5	半导体器件应用与选择准则	50
4-6	电阻器选择准则	51
4-7	电阻器的应用与选择准则	51
4-8	电容器选择准则	54
4-9	电容器的应用与选择准则	55
4-10	电子管选择准则	59
4-11	变压器与电感器的选择准则	60
4-12	继电器选择准则	60
4-13	继电器的适用军用规范	60
4-14	继电器与电感器的基本失效率	61
4-15	开关选择准则	61
4-16	通用开关失效率	61
4-17	连接器选择准则	62
4-18	波导管及有关装置的选择准则	62
4-19	波导管及有关装置的应用准则	63
4-20	电缆的选择准则	63
4-21	晶体管及集成电路的失效模式分布	65
4-22	微电路缺陷与筛选	66
4-23	各种筛选方法的比较	67
4-24	MIL-STD-883 方法 5004 筛选顺序	70
4-25	MIL-STD-883 试验的剔除率	70

4-26	B级器件的筛选试验费用	70
4-27	分立半导体器件基本失效率参数	72
4-28	I类晶体管(硅NPN)的基本失效率	72
4-29	微电子器件减额表	75
4-30	线圈、扼流圈及变压器减额表	87
4-31	继电器减额表	87
4-32	连接器减额表	87
4-33	环境应力、影响和提高电子设备可靠性的方法	88
4-34	降温使用时可靠性改进潜力	91
4-35	降低元器件过热的设计准则	92
4-36	封装技术折衷分析	93
4-37	贮备技术	95
4-38	典型的电路分析方法	116
4-39	损坏能量	124
4-40	陶瓷电容器的击穿电压	125
4-41	固体钽电容器的击穿电压	125
4-42	通用电容器的失效电平	127
4-43	生产工艺过程及有关缺陷	128
4-44	便于维修的设计准则	131
4-45	测试点设计准则	134
4-46	二次效应的原因和影响	136
4-47	费用设计计划类型	138
4-48	理想的费用设计计划	142
4-49	初步设计、设备生产费用设计单——第I阶段	149
4-50	初步设计、设备生产费用设计单——第I阶段	149
4-51	设备生产费用分配表	151
4-52	分装置与功能的关系计算表	152
4-53	最佳晶体管的选择	157
4-54	增加一个二极管的设计的费用比较	157
4-55	不同电子管的设计的失效前平均工作时间	159
4-56	APQ-113生产试验失效数据	160
4-57	导弹接口装置费用与可靠性运用数据	161
4-58	各种可靠性筛选组合的费用和平均无故障工作时间	161

第一章 引言

1.1 目的和范围

本手册是供军用电子设备和系统的设计人员使用的一本工具书。其目的是向设计人员提供资料和指导,帮助他们在基础设计阶段对设备进行可靠性设计。因此,本手册提供了诸如安全、任务、维修和费用等因素的设计数据与准则,而这些因素则构成了可靠性工程、系统工程和成本核算的工作内容。

本手册主要用于由大量电子元器件组成的新的电子设备或系统的设计。但也可用于由电子元器件和非电子元器件组成的系统的设计,以及对现有系统的改进。

本手册论述了提高可靠性的措施。它从设计的观点进一步阐明了 MIL-HDBK-217 B 《电子设备可靠性预计手册》中所描述的基本概念和可靠性改进措施。除了对 MIL-HDBK-217 B 进行补充外,还叙述了可靠性设计的各种方法,包括理论上、实践上和有关费用的考虑。本手册叙述了以下领域的研究方法:元器件的选择、减额、热设计和环境设计的评价、贮备技术、元器件的改进以及筛选技术。

下一节(1.2节)及其所属各小节,介绍了可靠性工程的概貌,列出了本手册的内容,并概略地提出在设计阶段中为提高可靠性而采取的各种措施。

1.2 可靠性工程介绍

要制定一个有效的可靠性计划,首先应该注意到:能否获得高水平的实际使用可靠性决定于产品的设计和整个寿命期的可靠性活动。通过设计可以确定系统的固有可靠性,而从设计图纸转化为产品,则会使系统的实际可靠性低于固有可靠性水平。因此,为了正确地估计产品的可靠性,必须首先对其设计特性(可确定可靠性的上限)进行研究,然后用生产、使用与维修退化等一系列系数进行修正。

所以,在设计和研制阶段中必须采取慎重而有效的措施。通过反复修改设计来提高系统的固有可靠性,并在生产和使用之前,剔除隐患和制造中的缺陷,使产品性能退化减少到最低程度。这些措施要求在系统研制的全过程中对所有的可靠性活动进行有效的管理。可靠性工作,首先从设计阶段开始——选择最好的元器件、应用元器件减额技术、采用筛选技术,并在系统设计中采用贮备技术。它包括为保证采购到可靠元器件所进行的采购活动和制订技术规范,并涉及到适用的试验方法、装配工艺,以及对现场使用过程中发生的失效进行准确报告、分析和纠正等有效的工作制度。往往要做大量的工作才可得到合格的现场可靠性。反之,若产品不能在现场可靠工作,其后果是严重的,会花费很高的费用和需要过长的停机维修时间。

1.2.1 可靠度和寿命特性

可靠度是“用时间尺度所描述的质量”。可靠度的经典定义是:在规定的条件下和规

定的时间内满意地完成规定功能的概率。从功能的观点来看,为了使产品可靠,它的质量必须大大超过规定的出厂性能或质量规范规定的指标,它还必须作到在规定的现场使用条件下,和规定的时间内满意地工作。

如上所述,可靠度的经典定义着重强调四个方面,即概率、性能要求、时间和使用条件。概率是一个定量的术语,它表示一个事件发生或不发生的可能性,取值于0~1之间。性能要求就是能清楚地说明或被认为能满意地工作的那些技术判据。时间是一个要求能满意工作的时间的长度。使用条件就是产品工作的环境条件。

因此,对可靠度的确定,涉及到与上述定义中四个方面有关的若干概念的理解。其中之一就是关于失效率的概念。失效率作为寿命的函数可以随时间而变化,它是对单位时间内出现的失效数的度量。为了说明失效率的变化,在观察产品寿命期内的失效特性时(按

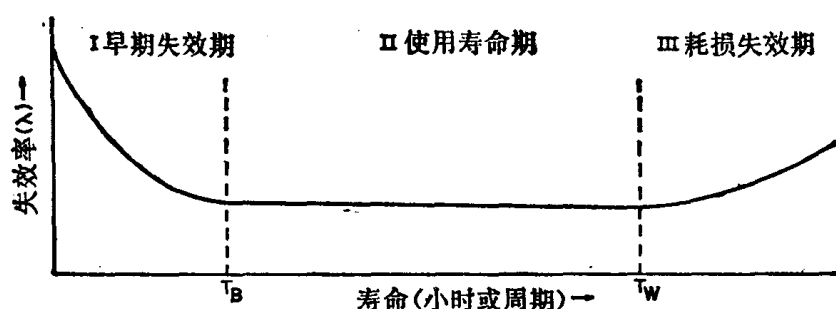


图1-1 寿命特性曲线(参考文献1)

它的总体是一个大子样来考虑),可对三个不连续的失效期分别进行考虑。这三个失效期如图1-1所示,并叙述如下:

I. 早期失效期

产品的总体在早期呈现出一个高的失效率,在这个时期内,失效率迅速下降(这个时期称为早期失效期,“老炼”期或调试期)。在剔除掉有缺陷的产品后,到达时间 T_B 时,失效率大致稳定在一个数值上。产生早期失效的因素可能有多种多样,如:严重的工艺不良(制造时偏离了设计),运输过程的损坏,或错误安装等。这种早期失效在新设备中特别明显。因此,许多制造厂家在交货之前对他们的产品规定一个“老炼期”,以剔除早期失效高的那部分产品,从而获得高水平的工作可靠性。早期失效的例子有:

- 焊接或密封不良;
- 接点不良;
- 连接不良;
- 材料或表面污染;
- 金属或绝缘体内有化学杂质;
- 绝缘层或保护层里有空隙、裂缝和气孔;
- 元器件的装配不当。

上述这些早期失效可以通过工艺控制来加以预防。有时,为了放宽容许偏差,要对设计和材料进行改进。但这些失效基本上反映了元器件或产品的“制造能力”和对工艺的控制程度。因此,这些早期失效将会在下述期间出现:

工艺测试或最后测试；
 工艺检查；
 寿命试验；
 环境试验。

I. 使用寿命期

全部产品在进行了老炼以后,失效率将达到最低水平。正常情况下,失效率相对地呈现为一个常数。由于耗损引起的变化非常缓慢或者甚至可以忽略不计,这个时期(见图1-1的 $T_B \sim T_W$ 之间)叫作使用寿命期。出现由应力引起的失效是这个时期的主要特征。描述这个时期失效率的数学模型多数是采用指数分布。不同型号的产品有不同的使用寿命期,这一寿命期是可靠性设计活动最为重要的时期,也是可靠性预计和可靠性评估的最重要的时期。

图1-2示出了与图1-1所示的寿命期有关的应力和强度的相互关系。图1-2(a)示出了可靠性不高和设计余量不充足的产品的典型应力与强度密度的分布曲线。图中阴影部分的面积示出了给定时刻内应力超过强度的百分数,因而产生失效。但应指出,对那些设计余量不充足的产品,瞬时应力往往超过平均强度,如图1-2(c)所示。

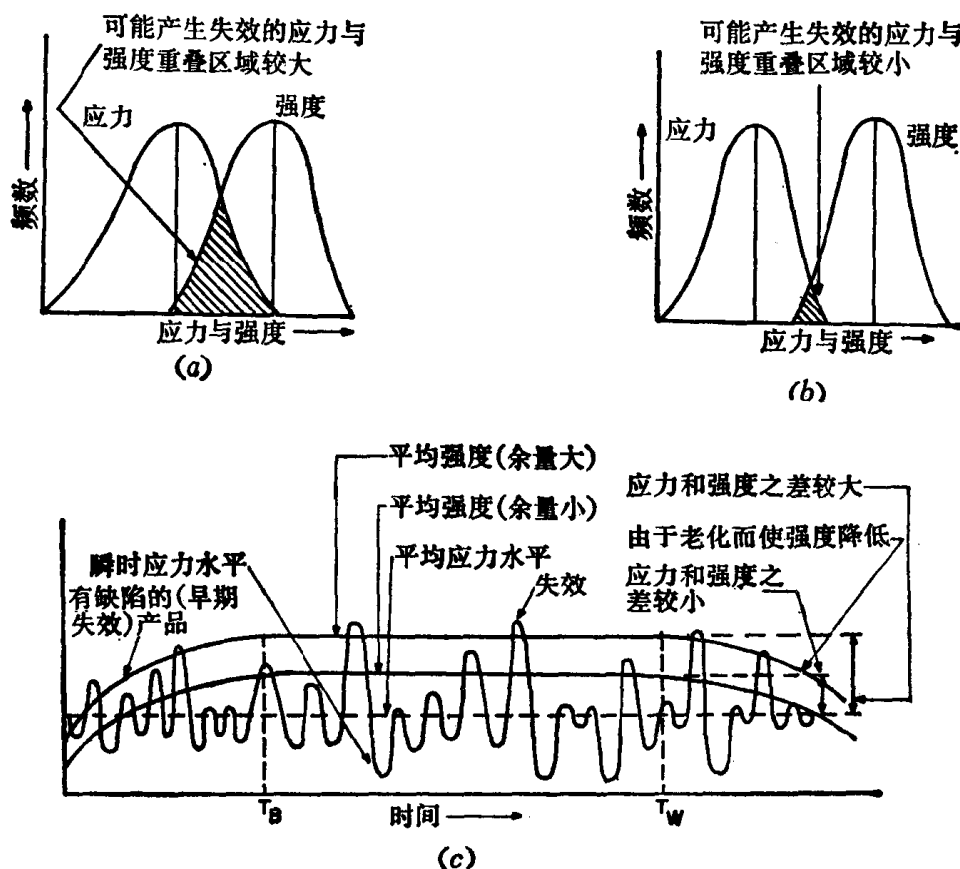


图1-2 应力与强度分布(参考文献1)

与图1-2(a)相反,图1-2(b)示出设计安全系数高(即有充足的设计余量)和可靠性高的产品的应力与强度分布的间隔。有时,导致设备失效的应力或组合应力的等级随机地增加,如图1-2(c)所示。经验证明,对于电子设备和电子元器件,过高的温度和电压(无论是稳态的、瞬态的或是迅速变化的),是两种最大的破坏性应力。潮湿、振动、冲击

和低气压，对于设备的设计强度的失效也有一定影响。

Ⅱ. 耗损失效期

当产品的总体达到失效率开始显著升高的那一点 (T_w) 时，就是产品的第三寿命期，即最终的寿命期。这一点表明使用寿命的终止或耗损失效期的开始。当超过时间轴上的这一点后，产品的失效率迅速升高。当产品由于耗损而使其失效率高到不能容许的程度时，应当进行更换或修理。对关键性的寿命较短的元器件的更换计划就是根据所确定的这种失效率而制定的。

如图 1-1 和图 1-2 所示，耗损失效主要是由于产品工作和暴露于不稳定的环境而引起产品设计强度的退化所造成的。退化是由许多众所周知的化学和物理现象引起的：

腐蚀或氧化；

绝缘的击穿或漏电；

金属在真空中或其表面上的离子迁移；

磨损或疲劳；

塑料制品的收缩和龟裂。

为了获得最佳可靠性，就要对这三个寿命期作单独的和全部的研究。早期失效必须通过有控制的筛选和老炼试验等一系列程序来剔除。必须通过留有充足的设计余量来降低应力造成的失效。必须适时提前更换那些短寿命的元器件，以便剔除耗损失效。因此，为了最大限度地提高和控制系统的可靠性，在设计中就应当重视对系统的工作可靠性有影响的所有主要因素。

为了介绍若干其它概念，我们着重研究图 1-1 中使用寿命期这个部分。在使用寿命期内，可靠度可用单参数的指数分布来描述：

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

式中 $R(t)$ ——产品在规定的条件下和规定的时间内能够工作而不会失效的概率，

t 通常用小时数表示；

e ——自然对数的底，等于 2.7182……；

λ ——产品的失效率（通常用每小时的失效数表示），在一组给定的应力、温度及质量条件下， λ 是一个常数。部件和元器件的 λ 值可通过收集大量的数据及试验来加以确定。

把 λ 和 t 的适当值代入上式，就可获得该时间周期内成功的概率（即可靠度 $R(t)$ ）。

平均无故障工作时间 (MTBF) 是失效率的倒数：

$$MTBF = 1/\lambda$$

MTBF 是一个产品与另一个产品进行比较的主要质量指标，它是产品在使用寿命期间失效率的度量。MIL-HDBK-217B^[2] 是预计系统和设备中使用的电子元器件（电阻器、半导体器件等）失效率 (λ) 的文件，将在本手册 2.1.3 节中对其作进一步地讨论。

按照 MIL-HDBK-217B 方法所求出的可靠性预计值仅反映出某一系统的固有（或潜在的）可靠性。它由该系统的设计文件、应力、安全系数、使用环境、制造和质量系数等来确定。这些估计值仅表示图 1-1 所描述的使用寿命期可靠性的上限值或固有可靠性。但是，这些估计值既不反映生产之后系统的性能要求，许多时候也不反映在实际现场环境中

工作和维修时所期望的系统性能。

下面, 我们讨论设备或系统在整个生产和工作期间可靠性退化情况, 并且讨论把系统的可靠性从退化的水平恢复到原固有可靠性的方法。

1.2.2 可靠性退化

从收集到的大量数据来看, 设备和系统的现场可靠性要降低到设计期间预计的固有可靠性的 10~30%^[8]。从图纸设计到生产和现场工作的整个过程, 引入了许多对所期望的可靠性大有影响的退化因素。这里对这些因素提出了简要的讨论。这些因素可分为生产和制造因素、系统运转方式和维修活动因素等。

为了评价由于制造而使可靠性退化的程度, 必须估计制造工艺的影响 (即加工引起的缺陷、常规制造和质量控制检查的效率以及可靠性筛选技术的有效性等)。除了外购件和材料的隐患外, 装配失误可能是可靠性退化的主要原因。装配人员的知识水平、受刺激或疲劳都是发生装配失误的因素。为了尽量减少可靠性退化因素, 并剔除显著的缺陷, 就要进行生产检验和质量控制检验及各种试验。但任何检验工作都不能剔除所有受检产品固有的缺陷。某些有缺陷的产品可能漏检而被判为合格品并交付现场使用。更为严重的是, 那些有严重缺陷的产品以隐患形式被掩盖起来。结果, 在现场工作期间, 在一定的应力条件下, 有缺陷的元器件就会失效。为了剔除这些缺陷, 则要求制造厂家设计筛选试验——在规定的期限内对产品施加规定的应力。像常规的工艺检查方法一样, 筛选试验并不是 100% 地有效的。

通过以上讨论, 可以看出, 评价生产造成的可靠性退化时, 只应评价在生产和装配过程中所造成的缺陷数, 而不包括常规质量控制试验及检验所剔除的缺陷数。本书第 4.2.1 节将进一步论述由生产所引起的可靠性退化。

系统的运转也会使可靠性退化。以老化作为主要失效机理的耗损也会缩短使用寿命。也有这种情况, 由于执行特殊的任务或为了避开地面敌方威胁, 军用电子系统有可能在超过设计能力的状态下工作。这些情况对于系统所用的元器件会产生有害的影响。操作粗劣、延长工作时间或忽略了维修等对可靠性退化都有严重影响, 最终会导致失效。这种可靠性的退化可能是人、机器和环境相互影响的结果。为了消除对运转过程的可靠性有退化作用的各种因素, 就要对人-机功能以及对降低操作人员工作效率的应力条件进行全面分析。

维修活动也可能降低设备的固有可靠性。研究表明, 由于频繁的保养性维修或粗劣地进行修复性维修 (例如装配失误) 所带来的过多装卸会使系统的可靠性降低。系统设计的发展趋势是要减少性能调整或为验证峰值性能所作的连续测试, 大量采用数字电路来代替模拟电路, 采用更多的机内检测设备和采用容错电路。这些因素可使易修性 (亦可提高系统的可靠性) 大为改观, 从而更加节省维修费用。尽管有了这些措施, 但维修人员仍然是造成可靠性降低的主要原因。因此, 要仔细评价与鉴别那些技术水平低、待遇差或奖励少的维修人员造成的可靠性退化的影响。

1.2.3 可靠性增长

可靠性增长是在研制期间或在以后的制造或工作期间促使产品达到它们预期可靠性的

综合措施。在早期研制阶段，一个新制造的产品或一台初样样机所达到的可靠性，大大低于所预计的可靠性，这是由于存在着初期设计缺陷、工程缺陷以及制造上的各种缺陷。可靠性增长的程序制订出并作为工程守则使用之后，可供管理部门用于执行质量控制、财力开支以及用于控制在全面投产或现场使用之前为制造成熟的系统所进行的各种活动。

可靠性增长程序的基本概念及其在新制造产品上的应用，涉及到对产品进行试验、失效、纠正、再试验等各种活动的考虑。具体地说，可靠性增长就是重复试验-失效-纠正这个过程。可靠性增长的三个主要因素是：

- (1) 产品失效的检测和分析；
- (2) 产品有问题部分的反馈和重新设计；
- (3) 执行纠正措施并重新试验。

产品可靠性增长的速率取决于完成这三个步骤的速度。尤其是取决于纠正措施解决暴露出的问题的完善程度。在早期研制阶段和试验过程中，所达到的可靠性（或 MTBF）远低于设计分析及由分析预计出来的预计值。随着研制和试验过程的进展，以及对有问题的部分的解决，所测得的可靠性就接近于固有（设计的）可靠性值了。图 1-3 描述了这个过程。

从图 1-3 可看出，可靠性的降低都出现在生产的开始。这主要是由于对工艺不熟悉、加工过程的偏差和对质量的疏忽等工艺失误所致。这些工艺失误会使产品的可靠性低于预期值。随着生产的进展和技术水平的提高，所测得的可靠性会重新开始接近于固有可靠性。以后章节将叙述建立可靠性增长模型的技术及其在机载电子系统研究方面的应用。

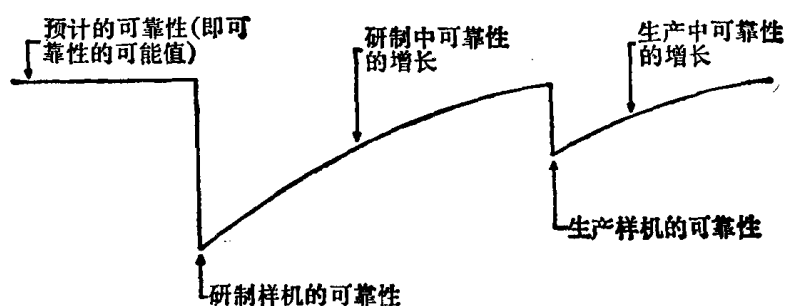


图1-3 设计和研制阶段可靠性增长过程

1.3 本书的内容

本书主要由三章组成，包括引言、背景材料和可靠性设计准则。此外，还有名词术语和参考文献内容摘要。本书主要内容如下：

可靠性理论及应用（第二章）

本章给设计人员提供较为重要的可靠性理论、可靠性工程常用的公式和计算技术，以便保证对系统进行可靠性设计。

机载电子系统（第三章）

本章描述了典型的机载电子系统、特定设备的分类以及其复杂度和大致的可靠性水平。其目的在于大致说明性能、复杂度和可靠性之间的相互关系。