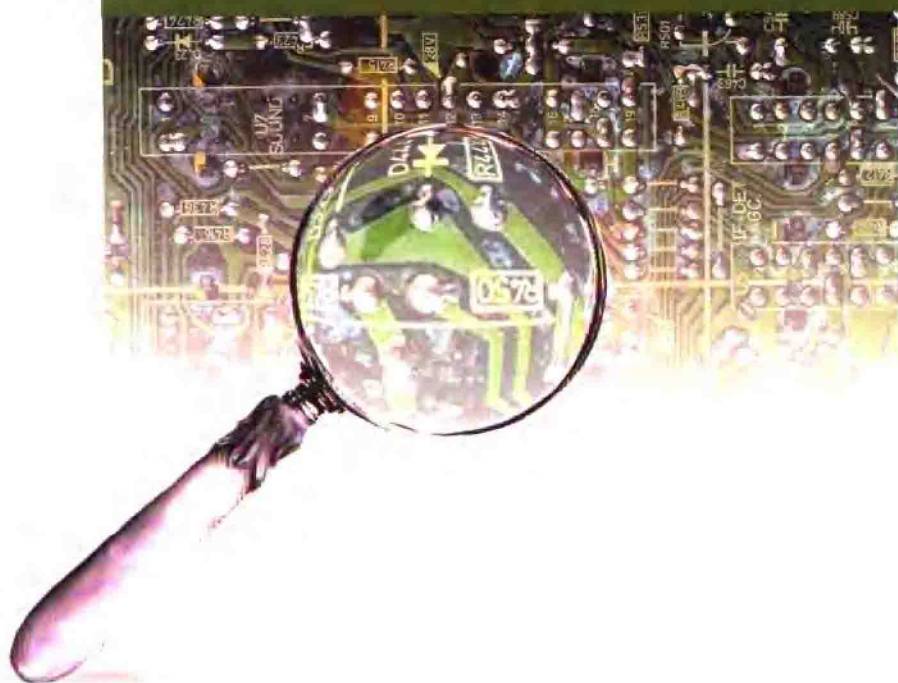


高等学校
电子信息类 规划教材

王世萍 朱敏波 编著

电子机械

可靠性与维修性



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

00011423

高等学校电子信息类规划教材

电子机械可靠性与维修性

王世萍 朱敏波 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

可靠性与维修性是产品质量的决定因素,为提高我国机电产品的质量,培养跨世纪人才,在高校开设《电子机械可靠性与维修性》课程势在必行。

本教材在介绍有关可靠性理论的基础上,吸收国内外的有关先进技术,结合作者多年从事可靠性工程设计的教学、科研实践,形成了一套较适合于机械电子工程类专业的教学内容与体系。本书主要内容包括:可靠性数学基础、可靠性基本理论、维修性理论、机械可靠性设计、可靠性工程设计、可靠性试验与数据处理等。

本书可作为高等院校本科、研究生的教材,还可供从事电子产品设计与研究的技术人员参考。

书 名: 电子机械可靠性与维修性

作 者: 王世萍 朱敏波

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研楼,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者: 北京密云胶印厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.5 字数: 425 千字

版 次: 2000 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-01389-6/TH·86

印 数: 0001~5000

定 价: 19.50 元

前 言

本书为全国电子信息类“九五”规划教材,由机械电子工程教学指导委员会编审、推荐出版。本教材由西安电子科技大学王世萍担任主编,王锡吉主审,谢仕聘任责任编委。

本书参考学时数为 50~80 学时。针对机械电子工程的特点,全面地介绍了可靠性与维修性的基本理论,可靠性的主要数量特征,各种典型系统的可靠性模型及可靠度计算,可靠性预计与分配,可靠性分析中常用的故障模式、影响及危害度分析、故障树分析等。

结合电子机械的特点,该书介绍了机械可靠性设计、概率工程设计与一般机械设计的不同特点,以及电子装备的热设计、机械防护设计、电磁防护设计等可靠性设计技术。对可维修系统,则侧重于最佳维修周期的确定和对马尔可夫维修系统的理论推证。对可靠性试验,主要介绍了抽样检验原理、寿命试验、可靠性增长试验与环境试验等。全书共分 10 章,将可靠性理论、数学基础和工程实际融为一体。为了巩固和加深对教材内容的理解,各章均附有例题和习题。

使用本教材时,应具有概率论和机械设计的基本知识,可结合机械电子工程专业的特点,对教材内容进行合理裁减,以达到更好的教学效果。

本教材第 1,3,5,6 章由王世萍编写,第 2,4,7,8,10 章由朱敏波编写,第 9 章由韩宁编写。参加审阅工作的还有赵 惇 爻 同志,他为本书提出许多宝贵意见。田锦同志为本书的出版做了许多有益的工作,在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1999 年 8 月于西安

目 录

第 1 章 可靠性概论	1
1.1 可靠性的基本概念	1
1.1.1 可靠性的定义和学习本课程的目的	1
1.1.2 可靠性理论的研究领域	2
1.1.3 电子机械可靠性的特点	3
1.1.4 产品质量、费用与可靠性的关系	3
1.2 可靠性技术发展简介	4
1.3 电子机械可靠性与维修性的基本内容	5
1.3.1 可靠性工作的基本内容与特点	5
1.3.2 产品各阶段的可靠性工作	6
第 2 章 可靠性的主要数量特征	9
2.1 可靠性特征量	9
2.1.1 可靠度与不可靠度	9
2.1.2 失效概率密度函数	10
2.1.3 失效率	11
2.1.4 平均寿命	13
2.1.5 寿命方差和寿命均方差(标准差)	14
2.1.6 可靠寿命、中位寿命和特征寿命	15
2.2 产品可靠性指标之间的关系	16
2.3 电子机械产品失效率曲线和失效规律	17
2.3.1 典型的失效率曲线	17
2.3.2 机械产品常见的失效率曲线	17
2.4 电子机械常见的失效分布	19
2.4.1 正态型失效分布 $X \sim N(\mu, \sigma)$	19
2.4.2 对数正态失效分布	26
2.4.3 韦布尔型失效分布	27
2.4.4 指数型失效分布	34
2.5 可靠性计算中常用的概率分布	36
2.5.1 二项分布	36
2.5.2 泊松分布	36
2.5.3 χ^2 分布	37

• II •

2.5.4 t 分布	39
2.5.5 用途	40
习题	41
第3章 典型系统的可靠性分析	42
3.1 可靠性框图	42
3.2 串联系统的可靠性	44
3.3 并联系统的可靠性	46
3.3.1 纯并联系统	47
3.3.2 串并联系统	49
3.3.3 并串联系统	50
3.3.4 n 中取 k (表决)系统	52
3.4 非工作储备系统	55
3.4.1 冷储备系统	55
3.4.2 热储备系统	57
3.5 网络系统	58
3.5.1 概述	58
3.5.2 状态枚举法(真值表法)	59
3.5.3 概率图法	60
3.5.4 路径枚举法	61
3.5.5 简化网络的方法	64
习题	68
第4章 可靠性预计与分配	71
4.1 可靠性预计的目的及分类	71
4.2 可靠性预计方法	72
4.2.1 系统可靠性预计的一般方法	72
4.2.2 电子、电器设备可靠性预计	74
4.2.3 机械产品特殊的可靠性预计方法	81
4.2.4 保证可靠性预计正确的要求	82
4.2.5 研制阶段不同时期可靠性预计方法的选取	83
4.2.6 进行可靠性预计时的注意事项	84
4.3 可靠性分配	84
4.3.1 无约束条件的系统可靠性分配方法	85
4.3.2 有约束条件的系统可靠性分配方法	95
习题	98
第5章 可修复系统	100
5.1 维修性的要求及指标的确定	100
5.1.1 维修性要求	100

5.1.2	维修性参数的选择	102
5.1.3	确定维修性指标	107
5.1.4	维修分布	107
5.1.5	可用度	108
5.2	预防维修模型及维修周期	110
5.2.1	按可用度最大确定预防维修周期	111
5.2.2	按总费用最小确定预防维修周期	115
5.2.3	根据可靠性要求确定维修周期	116
5.2.4	按参数可靠度要求来确定维修周期	117
5.3	定期维修中的可用度	118
	习题	120
第 6 章	维修系统的可靠性计算	121
6.1	马尔可夫随机过程	121
6.1.1	随机过程的基本概念	121
6.1.2	马尔可夫过程	122
6.2	维修系统的可靠性计算	123
6.2.1	单部件维修系统	123
6.2.2	串联维修系统	127
6.2.3	并联维修系统	131
6.3	更新过程与更新理论	134
6.3.1	更新过程	134
6.3.2	更新函数和更新密度	135
6.3.3	常更新过程	136
6.3.4	交替更新过程	137
6.3.5	更新函数与系统可用度	140
6.3.6	失效频率、修复频率与系统可用度的关系	140
6.4	维修性分配	140
6.4.1	加权因子分配方法	141
6.4.2	维修性分配实例	143
	习题	146
第 7 章	机械零部件的可靠性设计	147
7.1	机械可靠性设计的基本特点	147
7.2	静态应力-强度干涉模型	149
7.3	几种常用分布的可靠度计算	152
7.3.1	应力和强度均为正态分布的可靠度计算	152
7.3.2	应力和强度均为对数正态分布的可靠度计算	153
7.3.3	应力和强度均为指数分布的可靠度计算	155

7.3.4	应力为指数(或正态)而强度为正态(或指数)分布的可靠度计算	155
7.3.5	应力为正态分布而强度为韦布尔分布的可靠度计算	157
7.3.6	强度和应力为任意分布的可靠度图解算法	158
7.3.7	用蒙特卡罗模拟法求可靠度	161
7.4	安全系数与可靠度	161
7.4.1	经典意义下的安全系数	161
7.4.2	可靠性意义下的安全系数	162
7.5	机械零件的可靠性设计	165
7.5.1	函数的数学期望与方差计算	165
7.5.2	机械零件的概率工程设计	169
	习题	180
第8章	故障模式、影响及危害度分析	182
8.1	故障模式、影响及危害度分析(FMEA、FMECA)	182
8.1.1	概述	182
8.1.2	FMECA 方法中的一些基本概念	183
8.1.3	FMECA 的列表分析法	183
8.1.4	FMEA 的矩阵分析法	189
8.1.5	FMEA 和 FMECA 的评价	192
8.2	故障树分析法	193
8.2.1	故障树分析法的特点	193
8.2.2	故障树的应用	194
8.2.3	故障树中使用的符号	194
8.2.4	故障树的建立	196
8.2.5	故障树的定性分析	199
8.2.6	故障树的定量分析	202
8.3	潜在通路分析	204
8.3.1	概述	204
8.3.2	潜在通路的特点及产生原因	204
8.3.3	潜在通路的主要表现形式	205
8.3.4	潜在通路分析方法	206
8.3.5	潜在通路分析方法的特点	208
8.4	失效分析技术简介	209
8.4.1	各种故障模式的特征及其判断	209
8.4.2	失效分析所需的仪器设备	210
8.5	设备的故障诊断技术	210
8.5.1	故障诊断技术的内容	211
8.5.2	诊断信息的采集和处理技术	212

8.5.3 润滑油样分析·····	215
8.5.4 运行状态的监测·····	215
习题·····	215
第9章 可靠性设计技术 ·····	217
9.1 可靠性热设计·····	217
9.1.1 热设计基础·····	217
9.1.2 冷却方法的选择·····	224
9.1.3 电子设备的自然冷却·····	225
9.1.4 电子设备的强迫风冷·····	231
9.1.5 其它冷却方法·····	234
9.2 电磁防护设计·····	234
9.2.1 耦合方式·····	235
9.2.2 屏蔽原理·····	236
9.2.3 屏蔽效能计算·····	238
9.2.4 电屏蔽结构·····	240
9.2.5 低频磁屏蔽结构·····	241
9.2.6 接地设计·····	243
9.3 机械防振设计·····	244
9.3.1 振动与冲击对电子设备产生的危害·····	244
9.3.2 隔振设计·····	244
9.3.3 冲击隔离设计·····	247
9.3.4 阻尼减振技术·····	249
9.4 其它可靠性设计技术·····	250
9.4.1 降额设计·····	250
9.4.2 动态设计·····	251
9.4.3 冗余设计·····	253
9.4.4 三防设计·····	254
习题·····	255
第10章 可靠性试验及数据处理 ·····	256
10.1 概述·····	256
10.2 可靠性抽样试验·····	256
10.2.1 两类错误及其风险·····	257
10.2.2 接收概率与抽样特性曲线·····	257
10.2.3 定时截尾寿命试验抽样方案·····	258
10.2.4 序贯寿命抽检方案·····	260
10.3 寿命试验设计·····	263
10.4 电子机械产品寿命试验的数据处理·····	264

10.4.1	指数分布寿命试验的数据处理	264
10.4.2	韦布尔分布寿命试验的数据处理	266
10.5	加速寿命试验	267
10.5.1	加速寿命试验的原理与类型	268
10.5.2	恒定应力加速寿命试验设计	268
10.5.3	加速寿命曲线与加速寿命方程	270
10.5.4	加速系数	271
10.5.5	加速寿命试验结果的数据处理	272
10.6	可靠性环境试验	272
10.6.1	环境试验的目的及分类	272
10.6.2	环境试验方法及检测	273
10.6.3	环境试验的顺序、操作程序和结果处理	274
10.7	可靠性筛选试验	275
10.7.1	筛选方法	275
10.7.2	筛选用典型环境应力及筛选度	275
10.7.3	筛选试验方案的拟定	276
10.8	可靠性增长试验	277
10.8.1	可靠性增长及其模型	278
10.8.2	可靠性增长试验方案(计划)的拟定	279
10.8.3	可靠性增长的监测	280
习题		280
附录		281
附表 1	标准正态分布表	281
附表 2	χ^2 分布的分位数表	284
参考文献		285

第 1 章 可靠性概论

1.1 可靠性的基本概念

“可靠性”这个概念早已为人们所熟知,它是衡量产品质量的一个重要指标。只有那些可靠性好的产品,才能在长期使用中发挥其好的使用性能,从而赢得用户。随着科学技术日新月异的发展,尤其在国防、尖端技术等高科技领域中,可靠性越来越得到高度重视。美国“挑战者”号航天飞机失事、前苏联切尔诺贝利核电站泄漏等不可靠事件的发生,轰动全球,世人震惊;而 1957 年前苏联第一颗人造卫星发射成功,1969 年美国阿波罗 11 号宇宙飞船载人登月又是可靠性高技术成功的典范。这些事实进一步说明高新技术的发展更需要以可靠性技术为基础。

1.1.1 可靠性的定义和学习本课程的目的

1966 年,美国军用标准 MIL-STD-721《可靠性维修性术语定义》中给出了最早的可靠性定义,即“产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力”。该定义已为世界各地的标准引用,我国 1982 年的国家标准中可靠性定义也与此相同。由于上述定义只反映了成功完成任务的能力,在实际应用中有局限性,于是,1980 年美国按《国防重要武器系统采办指令》(DODD 5000.40 指令)又颁发了 MIL-STD-785B《系统与设备研制的可靠性大纲》。在这里,将可靠性分为任务可靠性和基本可靠性。任务可靠性定义为“产品在规定的任务剖面内完成规定功能的能力”,它说明了产品执行任务成功的概率,只统计危及任务成功的致命故障。基本可靠性定义为“产品在规定条件下,无故障的持续时间或概率”,它包括了全寿命单位的全部故障,也反映了产品维修人力和后勤保障等要求。我国 1988 年颁布的国家军用标准 GJB 450-88《装备研制与生产的可靠性通用大纲》已引用了这两种新的可靠性定义。按不同用途把可靠性概念分为两种,是对以往的可靠性工作实践经验的总结,也是对这一问题认识的深化,是可靠性工作的一个新的重要发展。

可靠性研究的对象是产品。所谓的产品是相当广泛的,可以是元器件、组件、零部件、机器、设备及各种系统。研究可靠性问题,不仅要明确具体的产品,而且还应明确它的内容和性质。若研究对象是一个系统,则不仅包括硬件,也应包括软件和人的判断、操作在内。

产品的可靠性与“任务剖面”、“规定条件”密切相关,它是指产品在执行任务期间或使用、储存、运输时的环境条件、使用条件、维护条件、承载条件及工作方式等,如温度、湿度、气压、风、沙、工业气体等气候条件,又如高山、海上、空中、室内、野外等地域条件。承载条件包括力学的、电学的、光学的等,工作方式可分为连续工作的或间断工作的。同一产品在

不同条件下,它的可靠性是不同的。

产品的可靠性是时间的函数,与规定的使用期限关系密切。通常,元器件经过筛选和整机跑合后,产品的可靠性水平将有一个较长时间的稳定使用或储存阶段,在此之后,便随着时间的增长而降低。对时间性的要求一定要明确。“规定的时间”是指产品的规定工作期限,可以用时间或其它相应指标(如里程、周期、次数)来表示。

产品的“规定功能”就是产品的性能指标。一般来说,“完成规定功能”是指产品在规定的使用条件下能完成所规定的正常工作而不失效或指产品在规定的功能参数下运行。“规定功能”是指产品若干功能的全体,如电阻器的阻值、功率、精度,晶体管的放大倍数、反向漏电流等,计算机的运算速度、字长、容量、指令数,雷达的距离、分辨力、测角测速精度、频率范围、脉冲峰值、功率、跟踪精度,通信机的频率范围、输出功率、通信距离、调制度、信道、保密性、兼容性等。

在弄清产品应具有的功能的同时,还应明确产品丧失功能(失效)的判别准则。可修复的产品失效称为故障。产品的功能有主次之分,故障也有主次之分。有时,次要故障不影响产品的主要功能,所以也不影响完成主要功能的可靠性。

可靠度是可靠性的数量指标。将数理统计与概率论引入到可靠性研究中,才使得可靠性研究进入到定量阶段,才有现今的可靠性工程的发展。

产品运行时的可靠性称为工作可靠性,它包括固有可靠性和使用可靠性。固有可靠性指在生产过程中已经确立了的可靠性,是产品的内在可靠性,它与产品的材料、设计、制造工艺及检测精度等有关。使用可靠性与产品的使用条件相关,受使用环境、操作水平、维修保养及使用者的素质等因素的影响。

学习本课程的目的:了解可靠性的技术概况,初步掌握可靠性设计与分析的方法,培养分析问题和解决问题的能力。

1.1.2 可靠性理论的研究领域

可靠性问题的研究是从第二次世界大战开始的。据有关统计,当时的雷达系统中的电子设备,只有 30% 的时间能有效工作,这迫使人们开展对可靠性的正规研究。在科学实验、生产实践及日常生活各个方面,可靠性理论都具有重大意义。可靠性理论又形成了三个重要领域或三个独立学科。

(1) 可靠性数学

可靠性数学是研究可靠性的理论基础。它着重研究解决各种可靠性问题的数学方法及数学模型,研究可靠性的定量问题。主要数学手段有概率论、数理统计、随机过程、运筹学、拓扑学等数学分支,应用于数据收集、数据分析、系统设计及寿命实验中。

(2) 可靠性物理

可靠性物理又称为失效物理。它从机理方面、失效本质方面研究产品的不可靠因素,研究失效的物理原因与数学物理模型、检测方法及纠正措施等,如研究机械零件的疲劳损伤、裂纹的形成和扩展规律等,从而为研制、生产高可靠性产品提供理论依据。

(3) 可靠性工程

可靠性工程是指为了达到产品可靠性要求而进行的有关设计、试验和生产等一系列

工作。可靠性工程包括对零件、部件、装备和系统等产品的可靠性数据的收集、分析。可靠性设计、预测、试验、管理、控制和评价,是系统工程的重要分支。

1.1.3 电子机械可靠性的特点

电子机械又称机电一体化设备,是电子与机械的有机结合体。机电一体化是一个新的发展动向,也是我国振兴机电工业的必由之路。

电子机械范围是比较广泛的,它是电子、机械、光学、声学、控制理论等有机结合的电子设备或系统,例如雷达天线及其伺服系统、计算机、飞机、宇宙飞船、洲际导弹、卫星及发射系统等。它们都具有电子系统、机械系统、光学系统等,因而其可靠性具有复杂性与特殊性,需要综合机械、电子、光学等各个方面,不仅需要计算电子元器件及其组成的电子线路方面的可靠性,还要考虑机械刚度、强度、精度、密度、腐蚀及内应力造成的变形对可靠性的影响。

严格讲,当代任何设备或仪器、系统必然是机、电、光结合的。因而,机、电、光的综合系统的可靠性研究,是一个亟待发展的重要课题。

1.1.4 产品质量、费用与可靠性的关系

当代的质量观念,既重视产品“符合规定要求”的“符合性”要求,更强调产品的“适用性”要求,也就是说,只有产品在使用时能成功地适合需要才是高质量的。需要是多方面的,所以产品质量是产品满足规定或潜在需要特性的总合。一个好的产品不仅要具备所需要的性能(固有性能),而且还能长期保持其性能,在使用中无故障、少故障,出现故障易修理,功能恢复迅速,使用安全,易于保障。产品的质量包括产品的性能、可靠性、维修性、安全性、适应性、经济性及时间性。性能、可靠性(含维修性)、安全性和适应性是产品的内在质量特性,经济性和时间性则是产品的外延特性。所以,可靠性是产品的基本质量指标之一,是产品质量的重要组成部分。只有当产品引进了可靠性指标后,才能与产品的其它质量指标一起,对产品的质量作出全面的评定。

可靠性指标与其它质量指标(技术性能)既有联系又有区别。可靠性是“用时间尺度来描述质量”的指标,它反映在使用条件下产品质量的时间效应,即对一批产品,使用到一定时间时,产品不出故障的百分比;对同一件产品,使用到一定时间时不出故障的百分比。产品的可靠性数据是对以往相同产品进行大量试验和现场调查,再进行统计估算获得的;而技术性能指标则说明该产品在出厂时的质量状态,它可通过各种仪器直接测出来。若产品不可靠,技术性能再好,也得不到发挥;若产品的技术性能低劣,它的可靠性肯定也很差。

从经济的观点来看,为了减少维修费用,提高产品的利用率,提高产品的可靠性是非常必要的。但可靠性与总的消耗费用要受到产品的设计和生

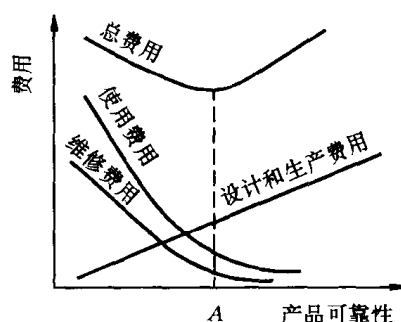


图 1-1 可靠性与费用的关系

优化选择。从图 1-1 可看出,在 A 点前,提高产品可靠性可以有效地减少维修费用,而为了提高可靠性,设计和生产费用当然会有所增加,总费用呈下降趋势;在 A 点后,再提高可靠性,需采取特殊措施,必然使设计和生产费用迅速上升,使用费用、维修费用虽然继续下降,但总的费用呈上升趋势。显然,A 点附近是优选区域。

1.2 可靠性技术发展简介

可靠性技术的发展始于第二次世界大战,概括起来可分为三个阶段。

第一阶段(从 20 世纪 40 年代至 1957 年) 美国的可靠性研究最早,早期研究重点放在故障率很高的电子管方面,在研究其电性能的同时,注重其耐震、耐冲击等可靠性的研究。1942 年美国麻省理工学院对真空管的可靠性进行了深入调查研究。1952 年 11 月美国成立了电子设备可靠性顾问团 AGREE(advisory group on reliability of electronic equipment),该团由科学、技术、生产和经营方面的权威人士组成,对电子产品的设计、试制、生产、试验、储存、运输、使用等各个方面的可靠性问题,进行了全面的调查研究,并于 1957 年 6 月发表了《军事电子设备的可靠性》报告。该报告全面论述了产品在各环节中的可靠性问题,较完整地介绍了可靠性的理论基础及研究方法,为可靠性的研究和发展奠定了基础。

第二阶段(从 1957 年至 1962 年) 是制定军用规格、标准,进行统计试验阶段。建立了可靠性标准体系基础,并从可靠性环境试验到生产过程进行全面质量管理。20 世纪 60 年代以来,空间科学与宇航技术的发展,提高了可靠性的研究水平,扩展了其研究范围。日本、英国、前苏联都开始了对可靠性理论及应用的研究。对可靠性的研究已经由电子、航空、宇航、核能等尖端部门扩展到电机、电力、机械、动力、土木等各个领域。对于大批量生产的汽车这种机械产品,其可靠性研究已成为重要课题,并取得了可喜的成果。如 1959 年国际市场上小轿车的保用期为 90 d(或 6436 km),到 70 年代初期,则提高到 5 d(或 80450 km)。

第三阶段(1968 年以后) 是可靠性保证阶段,即全面实现以可靠性为中心的管理阶段。在这个阶段,日本全面引入美国的可靠性技术,推行全面质量管理,获得了巨大效益,使其产品在世界市场上占据重要地位。

提高产品的可靠性,已成为当今提高产品质量的关键。可以预见,今后只有那些高可靠性的产品及其企业,才能在竞争日益激烈的世界上生存下来。现代生产中,已将可靠性技术贯穿于产品的开发研制、设计、制造、试验、使用、运输、储存、保管和维修保养之中。进行可靠性设计,能有效地利用材料,减少加工工时,得到体积小、重量轻的产品。因此,国外已把可靠性研究工作提高到节约能源的高度来认识。

近半个世纪的可靠性技术的发展,可概括成如下几方面:

(1) 从重视产品性能、轻视可靠性,转变为树立可靠性、费用及性质同等重要的概念,实现了观念转变。

(2) 从单个可靠性参数指标发展到多个参数和指标,建立了完善的可靠性参数和指标体系。

(3) 在电子元器件方面,从电子管失效机理的研究发展到对超高速集成电路的研究,使电子元器件可靠性以每年平均约 20% 的速度在提高。

(4) 从电子设备的可靠性研究发展到重视机械设备、光电设备及非电子设备的可靠性研究,以全面提高产品的可靠性。

(5) 从只重视硬件可靠性研究发展到硬件、软件并举,以确保大型复杂系统的可靠性。

(6) 从重视可靠性宏观统计试验发展到强调微观分析,重视可靠性工程试验,以便更准确地确定产品的故障模式、可靠性及寿命。

(7) 从定性的可靠性分析设计发展到计算机辅助定量分析,大大提高了可靠性设计水平。

(8) 从以固有值作为产品的可靠性指标发展到以使用值作为指标,确保产品在使用条件下具有规定的可靠性水平。

(9) 从分散、部门管理发展到统一、集中的可靠性领导机构管理,完善了管理体系。

我国的可靠性工程起步于 20 世纪 60 年代,到 80 年代才有所发展,取得了不少成就。

随着科学技术的进步,系统、设备日益复杂化,使用环境日趋恶劣,提高产品的可靠性、维修性已势在必行。海湾战争又给人们以启示,即未来高科技战争会对可靠性和维修性提出更高要求。因此,国家及各部门都十分重视这一工作。

1980 年以来,我国颁布了一系列有关可靠性方面的国家标准和国家军用标准、规范等,形成了法规性文件,对推动与可靠性和维修性相关的各项活动的法制化、规范化起到了重要作用。

在对现役设备、武器装备延长寿命和维修方法改革方面,以及在对新研制设备进行可靠性设计、加工、管理等方面,由于运用了可靠性理论,均取得了显著的社会效益和经济效益。可靠性信息系统建设发展迅速,尤其是在航天和航空领域中实行了质量监控,使系统及设备的可靠性得到增长。

我国的可靠性基础研究及学术活动十分活跃,为推动我国的可靠性理论发展作出了贡献。

由于起步晚,基础薄弱,我国的可靠性技术水平与世界先进水平相比差距甚大。为赶超世界先进水平,迅速提高我国的可靠性和维修性技术和管理水平,还需要不懈的努力。

1.3 电子机械可靠性与维修性的基本内容

1.3.1 可靠性工作的基本内容与特点

可靠性工作是一个复杂的系统工程,是根据可靠性工程学基本理论,为提高产品可靠性,对人—机—环境进行综合研究与控制的工程。

可靠性工作包括可靠性工程技术与可靠性管理两个方面。一切可靠性工程技术活动都应在可靠性管理之下去规划、组织、协调、控制与监督。因此,可靠性管理在可靠性活动中应处于领导与核心地位。

可靠性具体工作内容,可参见国家军用标准 GJB 450《装备研制与生产的可靠性通用

大纲》中的可靠性工作项目实施表进行,如表 1-1 所示。

表 1-1 可靠性工作项目实施表(引自 GJB 450)

工作项目	类型	研制生产阶段			
		战术技术指标论证阶段	方案论证及确认阶段	工程研制阶段	生产阶段
制定可靠性工作计划	管理	Δ	Δ	√	√
对转承制方和供应方的监督和控制	管理	Δ	Δ	√	√
可靠性大纲评审	管理	Δ	Δ ^①	√ ^①	√ ^①
建立故障报告、分析和纠正措施系统	工程	×	Δ	√	√
故障审查及组织	管理	×	Δ ^①	√	√
建立可靠性模型	工程	Δ	Δ ^①	√ ^①	O ^①
可靠性分配	计算	Δ	√	√	O ^①
可靠性预计	计算	Δ	Δ ^①	√ ^①	O ^①
故障模式、影响及危害度分析	工程	Δ	Δ ^①	√ ^①	O ^①
潜在电路分析	工程	×	×	√ ^①	O ^①
电子元器件和电路的容差分析	工程	×	×	√	O
制定元器件大纲	工程	Δ	Δ ^①	√ ^①	√ ^①
确定可靠性关键件和重要件	管理	Δ ^①	Δ ^①	√	√
确定功能测试、包装、储存、装卸、运输、维修对可靠性的影响	工程	×	Δ ^①	√	O
环境应力筛选	工程	×	Δ	√	√
可靠性增长试验	工程	×	Δ ^①	√ ^①	×
可靠性鉴定试验	计算	×	Δ ^①	√ ^①	√ ^①
可靠性验收试验	计算	×	×	Δ	√ ^①

符号说明:管理——可靠性管理;工程——可靠性工程;计算——可靠性计算;√——适用;O——仅设计更改时适用;Δ——根据需要选用;×——不适用。

① 要综合考虑费用效益或其它标准要求后确定。

可靠性工作应该贯穿于产品寿命的全过程,它与产品的设计、制造、使用、维护、管理、人员因素和环境状况密切相关。设计、制造决定了产品的“固有可靠性”,使用、维护则能保持“使用可靠性”。因此,为提高电子机械的可靠性,需采取综合性措施。

1.3.2 产品各阶段的可靠性工作

产品的可靠性工作阶段可划分为论证阶段、方案阶段、工程研制阶段、设计定型阶段和生产定型阶段,共五个阶段。

(1) 论证阶段

根据设备的使命、对象确定设备特点和使用要求,同时也应该提出可靠性与维修性的

定性要求。

根据设备的特点与使用要求确定其寿命剖面 and 任务剖面,同时也要确定设备的使用环境剖面,这些条件是确定可靠性与维修性定量指标、可靠性与维修性指标验证方法及方案,以及确定可靠性与维修性保证大纲、可靠性设计准则与规范,进行可靠性与维修性设计评审及确定工程制造的可靠性保证工艺等的依据。

可靠性与维修性定量指标包括系统(设备)完好性、任务成功性、平均维修时间 MTTR 的定量要求、平均故障间隔时间 MTBF 的定量要求及维修人力费用和后勤保障费用等。同时,在论证阶段应拟制出可靠性与维修性指标要求及其依据的分析报告。

在形成初步技术指标与可靠性指标后,需进行可靠性与维修性指标及实现的可行性论证。包括:对可靠性与维修性指标体系、指标要求的必要性进行论证;对可靠性与维修性指标的可行性进行论证;对相似设备的比较及达到可靠性与维修性指标的途径、方法、措施等进行论证。

针对论证所确定的技术指标,应制定出验证方法及要求。同样,对可靠性与维修性指标的论证,也应拟订出其验证方法及要求,如可靠性与维修性试验大纲、可靠性与维修性试验计划、可靠性与维修性鉴定与验收试验方案、可靠性试验参数、失效判据、失效分析与处理等,都应列入产品研制任务书或合同中。

论证后,应提出初步的设计方案及满足可靠性与维修性要求的可靠性方案构思,如方案简化设计、技术成熟性方案设计、冗余方案及系统环境适应性方案设计、系统功能框图及可靠性框图等。在该过程中还必须对设备技术性能、可靠性与维修性进行权衡和评审。

(2) 方案阶段

按我国国家军用标准 GJB 450《装备研制与生产的可靠性通用大纲》及 GJB 841《故障报告、分析和纠正措施系统》的规定,产品设计师必须提出产品的故障报告、分析与纠正措施,简称 FRACAS,其目的是及时发现故障和故障原因,经过认真分析制定和实施有效的纠正措施,防止再出故障,以改善和提高产品的可靠性和维修性。此项工作应贯穿于产品的全寿命周期中。

在初步方案构思的基础上,拟定较为详细的设计方案,并进行技术方案论证、可靠性与维修性方案论证。可靠性与维修性论证报告内容包括:可靠性和维修性与经济性、技术性的综合论证及择优方案,能满足合同要求的可靠性与维修性指标的优化方案,后勤保障系统、维修等级及其它约束条件的最佳构成方案及由于采用新技术对可靠性与维修性影响的风险,寿命周期费用的综合权衡方案及完成规定功能的优化方案等。

经过论证确立了设计方案,也就确立了系统的模型,为建立可靠性模型打下了基础。建立可靠性模型是可靠性工程的重要工作之一,为可靠性指标的预计、分配、可靠性设计及可靠性分析做好准备。

(3) 工程研制阶段

工程研制阶段主要进行技术设计,为设计定型做准备。对于大型复杂产品,为了减小研制与生产的风险,通常增加样机的研制与性能试验、环境适应性试验及可靠性摸底试验。对于不进行试验样机研究的产品,应加强对方案中的关键技术进行研究。可靠性与维修性的关键设计与分析研究工作包括:电路动态设计,电路环境适应性设计,软件可靠性