



数据加载失败，请稍后重试！



数据加载失败，请稍后重试！

U661
Y51

381904

船舶可靠性工程导论

易 宏 张祖卫 编著
霍步洲 周 杰
主编 易 宏
顾问 沈国鉴



国防工业出版社

· 北京 ·

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

船舶可靠性工程导论/易宏等编著. —北京: 国防工业出版社, 1995. 3

ISBN 7-118-01307-2

I. 船… II. 易… III. 船舶-可靠性工程-概论 IV. U661

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 05015 号



(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 12 1/2 325 千字

1995 年 3 月第 1 版 1995 年 3 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 15.30 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

可靠性技术自从半个世纪前诞生以来,已从电子工程领域迅速发展 to 机械工程、结构工程、核工程、甚至财政金融领域之中,并已取得了丰硕的成果。船舶可靠性工程也已由第二次世界大战以后在船用电子装备的可靠性研究基础上逐步发展起来,并在某些先进国家得到了广泛的应用。在我国,船舶可靠性工程尚处于发展阶段,然而,各方面对船舶可靠性提出的要求已超过了我国现有技术所能满足的范围。船舶可靠性有其固有的特征,这些特征使得别的领域的可靠性研究成果无法直接应用到船舶可靠性工程之中。因而,对船舶可靠性工程技术的研究已越来越被人们所重视。为了满足日益增长的对船舶可靠性技术的要求,我们编写了这本《船舶可靠性工程导论》。

本书作为船舶可靠性工程的入门引导,在介绍了可靠性基础知识后,没有去重复可靠性技术在电子工程和机械工程等领域中的成功的实践,而是将笔墨重点投在作者已经进行过的船舶总体可靠性的探索之中。在基础知识方面,本书力求重点介绍在船舶可靠性工程中将得到广泛应用的基本方法而略去了繁琐的理论推导;在可靠性工程方面,本书重点介绍了船舶总体可靠性机理,船舶总体可靠性参数体系,船舶总体可靠性模型及评价方法。至于船舶系统的可靠性则没有作过多的叙述,因为这一部分内容和一般电子系统和机械系统的可靠性的内容大同小异,感兴趣的读者可以方便地从已出版的有关书籍中找到。

本书是在上海交通大学沈国鉴副教授的指导下,由上海交通大学的易宏,海军装备技术部的张祖卫、霍步洲和周杰等人合作完成的。在本书的编写过程中得到了上海中医学院外语教研室徐敏

同志的大力支持和协助以及上海交通大学水下工程研究所各位同志的热情支持和鼓励。在此,作者一并表示感谢。

编 者

内 容 提 要

本书用通俗的方法系统地介绍了船舶可靠性工程及其基本实施方法,其中包括可靠性基本理论,船舶可靠性参数体系,船舶可靠性论证,船舶可靠性设计,船舶可靠性管理,船舶可靠性试验及船舶可靠性数据系统等。对船舶总体可靠性模型及其计算方法等综合性较强的问题提出了一些独特的见解。其一大特点是其理论介绍和实际选例都紧紧结合船舶工程,因而具有较高的实用价值。

本书适合于从事船舶设计、研究、生产和使用的各类科技人员阅读,也可供从事可靠性工程的科技人员和开设船舶及海洋工程专业的大专院校的师生参考。

目 录

第一章 可靠性及可靠性工程.....	1
§ 1 可靠性简介	1
§ 2 可靠性理论的发展过程	7
§ 3 可靠性技术的作用	10
§ 4 船舶可靠性工程	13
§ 5 船舶可靠性工程的学习方法	16
第二章 可靠性特征量	18
§ 1 可靠度和可靠度函数	18
§ 2 失效率与“浴盆曲线”	21
§ 3 产品的寿命特征	24
§ 4 不可维修系统可靠性参数之间的关系	25
§ 5 可维修系统的可靠性参数	27
§ 6 可靠性工程中常用的概率分布	29
第三章 典型系统的可靠性分析	38
§ 1 原理框图和可靠性框图	38
§ 2 串联系统的可靠性	39
§ 3 并联系统的可靠性	41
§ 4 n 中取 r 系统的可靠性	45
第四章 一般系统的可靠性分析	50
§ 1 一般系统的结构函数	50
§ 2 最小割集和最小路集	52
§ 3 状态枚举法	54
§ 4 全概率公式分解法	63
§ 5 网络法	66
§ 6 失效模式及影响分析法(FMEA)	73
第五章 故障树分析法	80
§ 1 故障树分析法概述	80

§ 2	故障树分析法中的基本名词术语和符号	82
§ 3	故障树的建立	88
§ 4	故障树结构函数、最小割集和最小路集	108
§ 5	故障树定性分析	112
§ 6	故障树定量分析	115
§ 7	重要度	120
§ 8	故障树分析的 NP 困难及缓解方法	132
§ 9	计算机辅助故障树分析	137
第六章 可维修系统和可靠性数字仿真		143
§ 1	可维修系统和可靠性数字仿真	143
§ 2	随机抽样序列和随机数	147
§ 3	离散型随机变量的抽样方法	153
§ 4	连续型随机变量的随机抽样	155
§ 5	随机向量的一般抽样方法	160
§ 6	以最小割集(最小路集)为基础的可靠性数字仿真	161
第七章 船舶可靠性参数体系及指标的确定		165
§ 1	船舶可靠性参数体系的一般要求	165
§ 2	运输船舶的可靠性参数体系	170
§ 3	军用船舶的可靠性参数体系	178
§ 4	船舶可靠性指标的确定原则	186
第八章 船舶可靠性模型		190
§ 1	可靠性模型及建模的一般程序	190
§ 2	船舶的组成	194
§ 3	民用船舶的可靠性模型	198
§ 4	舰船总体可靠性模型	207
第九章 船舶可靠性设计		237
§ 1	可靠性设计的一般概念	237
§ 2	可靠度分配	241
§ 3	系统可靠性设计方法和维修性设计	270
§ 4	船舶可靠性设计的一般程序	280
第十章 船舶可靠性管理		286
§ 1	可靠性管理概述	286
§ 2	船舶设计过程中的可靠性管理	291

§ 3 船舶建造及定型过程中的可靠性管理	299
§ 4 船舶使用过程中的可靠性管理	303
§ 5 装备研制与生产的可靠性通用大纲	310
§ 6 可靠性标准及其应用	315
第十一章 船舶可靠性试验和评估	326
§ 1 可靠性试验概述	326
§ 2 环境应力筛选试验	330
§ 3 可靠性增长试验	335
§ 4 可靠性测定试验	341
§ 5 可靠性鉴定试验	345
§ 6 可靠性验收试验和船舶总体可靠性评估	353
第十二章 船舶可靠性数据的收集和数据管理系统	355
§ 1 船舶可靠性数据的特征	355
§ 2 可靠性数据的收集	359
§ 3 可靠性数据的处理	372
§ 4 船舶可靠性数据管理系统	379
附表 1 标准正态分布累积分布函数	381
附表 2 标准正态分布下侧分位数	386

第一章 可靠性及可靠性工程

§ 1 可靠性简介

在选购商品时,人们通常要考虑这样一些问题:这东西可以用多长时间?容易坏吗?坏了容易修吗?在订购一艘舰船时,除了规定其排水量、航速和武器系统性能等指标外,订购方总希望这艘舰船在使用时少出点故障,出了故障时维修尽可能方便一点,使用时间尽可能长一点。在建设一项工程时,建设者们总是想方设法使这项工程能经久耐用。不管是生产者还是使用者,都希望他们所生产或得到的产品能经久耐用,有过得硬的质量。这种对产品质量的定量刻划就是可靠性。通俗地说,产品的可靠性就是产品性能的稳定性。这种稳定性能使产品在其寿命期内具有在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。这种稳定性的高低,也就是可靠性的高低,就标志着产品质量的好坏。

过去一般认为,只要设计上没有差错,经过精心施工所制成的产品理所当然应能有其预定功能。如果没有特殊原因不会发生故障,所发生的故障只是极少的例外。对于个别生活日用品来说,使用者遇到这种例外只有自认倒霉。但生产厂家应对这些随着产品普及而增加的例外事件进行处理。

如今,随着科学技术的不断发展,大规模化的系统产品不断涌现,它们对国家、社会和人民生活已产生了深刻的影响。当系统中个别细小部分因故障而暂时停止工作时,有可能造成难以估量的损失。在伴有人身伤亡事故时,更是事关重大。在这样的情况下,把故障仍然看作极个别的例外是不合适了。

第二次世界大战时,在美军装备中实际产生的大量故障的事实已使制造厂放弃了把这种故障作为例外对待的观点。当时美国生产的电子武器中,半数以上在实际战场上无法使用。战后,以美国军事当局为中心,把武器的故障问题作为整个工业的问题提了出来,并开始展开大规模的研讨。几年以后,美国军事当局坚决地提出这样一个简单明了的方针:不购买产生故障的武器。此后,生产界从事生产的各类人员一起致力于生产“不产生故障的产品”的工作。这种竭尽全力的努力首先从美国开始,以其他各国在各方面所积累的庞大资料和理论研究的成果为背景,打开了通向可靠性技术和可靠性工程学的道路。至今,已经确立了其作为所有产品和技术普遍通用的一门应用学科的地位。

通常,从工程概念出发所谈到的可靠性具有较为广泛的含义,称之为广义可靠性。它包括可靠性(R ,狭义)、可维性(M)和可用性(A)。它们相互区别,又相互联系,从不同的方面反映着产品性能的稳定性。

可靠性(Reliability):产品在规定条件下,规定时间内完成其规定功能的能力。

这个定义有四个要点。首先,它指出了可靠性是产品的一种内在的能力。这种能力光定性地理解是不够的,还必须有定量的刻划。由于产品故障带有随机性,不能仅以一个产品的工作情况来衡量这一批产品的可靠性的高低,而应在观察了大量同类产品的工作情况之后方能确定这种能力的高低。所以,可靠性定义中的“能力”常带有统计学的意义。如果在工作中失效的产品数占产品总数的比率越小,这种能力就越大。这样,可靠性的度量必然要用概率术语。或者说只有用概率的方法才能进行可靠性度量。常用的可靠性术语(或参数)有可靠度、不可靠度、平均无故障工作时间等。这些参数构成了可靠性分析中的基本概念。

该定义的第二个要点是“预定功能”。这是把握产品失效尺度的关键。以一艘双轴双桨的船舶为例,该船双轴工作时航速为12kn,单轴工作时航速为8kn。若将预定功能规定成全速航行

(12kn),则当一套轴系发生故障时船舶就失效了。若将这种预定功能规定成能进行 8kn 以上航速的航行,则在一套轴系发生故障时,船舶仍能完成其预定功能,船舶并没有失效。因而,规定“预定功能”是进行可靠性分析的前提。

该定义的第三个要点是“规定条件”。所谓“规定条件”指的是产品工作时的环境条件、使用条件和维护条件,这些条件对产品的可靠性有直接的影响。在不同条件下,同一产品的可靠性不一样。如法国 16VPA6 型柴油机在普通的水面船舶上使用时可发出 3675kW(5000 马力)以上的功率。而在潜艇上使用时,由于背压环境影响,只能发出 1911kW(2600 马力)左右的功率。若笼统地对该型柴油机提出发出 3675kW(5000 马力)功率的要求,则在潜艇条件下根本办不到,可靠度等于零。同样,船用雷达等电子设备在空气湿度大、含盐分多的南海使用时,比在空气相对来说比较干燥的北海使用时出故障的次数多。船用钢板的腐蚀情况也是如此。此外,实验室条件下的可靠性和现场使用条件下的可靠性也不一样,有时相差几十倍。因而,在美国军用手册《电子元器件可靠性数据手册》(MIL-HDBK-217)中对同一产品的失效率根据不同的使用环境和条件用不同的系数来加以调整。

该定义的第四个要点是“规定时间”,它也是这个定义的核心,离开了时间就无可靠性可言。从一般常识可知,产品使用的时间越长,就越容易出故障,可靠性就越差。因而,时间是研究可靠性问题的关键。这种“规定时间”的长短随着产品的不同以及使用目的的不同而异。如导弹系统只要求在几分钟甚至几秒钟之内可靠,而海底电缆则要求在几十年之内可靠。图 1-1 是时间关系图,它能帮助人们正确划分产品使用和退出使用的时间界限。

狭义可靠性往往用可靠度来作为其基本评价参数,即产品在规定条件下、规定时间内完成其规定功能的概率,记作 $R(t)$ 。

可维修性(Maintainability):产品在规定条件下、规定时间内完成维修工作的能力。可维修性虽然不是产品的独立特性,但它是其设计和装配的一种特性,它赋予产品一种便于维修的特有素质,从

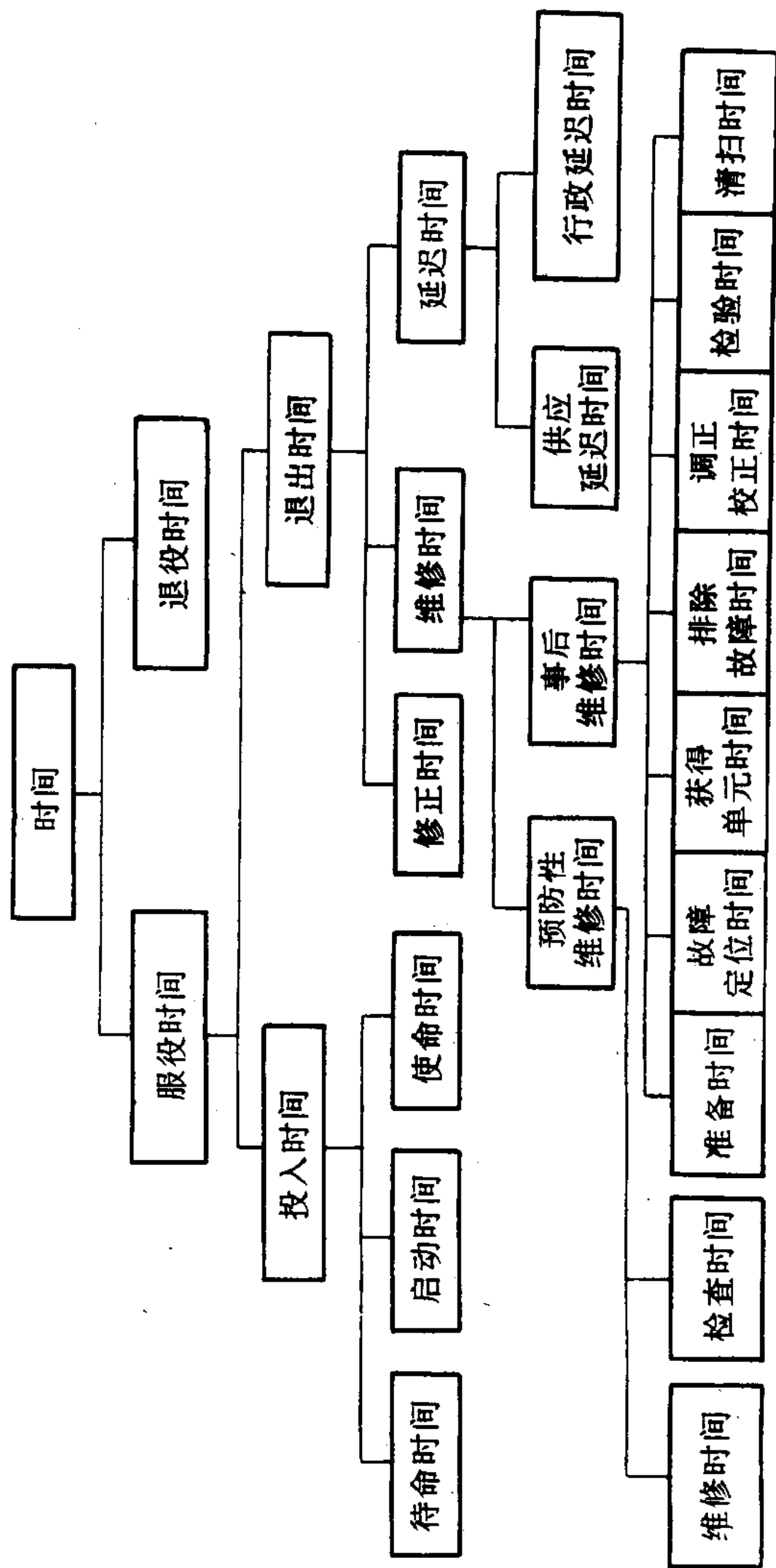


图 1-1 时间关系图

而可以减少维修工时,降低维修工作所要求的技能水平,节约工具、设备及维修费用,使得产品能在较短的时间内以及较少的花费下得到其功能的恢复。可维修性和许多因素有关,如固有简单性,维修方便性,环境适应性,安全性,贮备性,标准化程度,技术水平的要求,寿命周期费用要求以及后勤保障能力等。它往往用可维修度来作为其基本评价参数,即:可维修产品在规定条件下、规定时间内完成维修工作的概率,记作 $M(t)$ 。

可用性(Availability):产品在规定条件下、规定时刻处于可使用状态的能力。它表示产品良好地开始执行任务的经常性与产品的可靠性和可维修性有关。可用性往往用可用度来作为其基本评价参数,即:产品在规定条件下、规定时刻处于可工作状态的概率,记作 $A(t)$ 。可用度也可以理解为产品在规定条件下、在规定时刻处于正常状态的概率。

在一般场合,人们所言的可靠性可能是包括狭义可靠性、可维修性和可用性在内的广义可靠性。而在定性及定量分析时,可靠性则多指狭义可靠性。读者在阅读有关文献时要根据前后文内容用心体会其含义。

从可靠性的定义中可以看出,产品的可靠性是产品的一种内在属性。因而,产品的可靠性不是计算出来的,也不是试验出来的,而是在产品的设计、生产和使用过程中通过一系列保障措施得来的。这一系列使产品达到某种可靠性水平而采取的保障措施和手段就是可靠性工程。它包括可靠性设计(含论证),可靠性预测,可靠性试验,可靠性评估,可靠性增长,可靠性检验,可靠性管理和可靠性信息收集等,是系统工程学的一个重要分支。

既然产品的可靠性反映的是产品在其工作过程中体现出来的产品性能的稳定性,那么,它必然受到产品的质量 and 产品的使用这两个方面的影响。受前者影响的常被称作固有可靠性(Inherent Reliability),记作 R_i 。受后者影响的常被称作使用可靠性(Use Reliability),记作 R_u 。 R_i 是在产品的设计生产过程中由产品的设计水平、制造工艺水平、原材料及零部件的选择等因素决定的。 R_u 主要是在

产品生产出来以后由包装、运输和管理水平以及使用过程中的环境、操作水平、维修技术及方式等因素决定的。这两部分中各因素所占的大致比例反映在表 1-1 中。

表 1-1 可靠性各影响因素所占比例

可 靠 性	R_i	零、部件,材料	30%
		设计技术	40%
		制造技术	10%
	R_u	运输,环境,安装,维修	20%

从表 1-1 中可以看出,设计技术对产品可靠性的影响最大,约 40%。其次是零、部件及原材料的选择,约占 30%。使用约占 20%,制造技术约占 10%。可靠性工程的目的就是要在产品的设计、生产和使用的各个环节中有效地控制各种影响因素,从而使产品达到我们所满意的可靠性水平。它贯穿于产品的规划、设计、制造和维修的全过程。通常,可靠性工程的基本程序是:

1) 系统论证:根据工程需要及实际工业水平确定产品的可靠性指标。

2) 制定产品的可靠性保证大纲,对产品的可靠性工程提出要求。

3) 进行产品的可靠性设计,分配。

4) 根据产品的可靠性设计结果和实际工业水平,利用系统可靠性分析手段提出产品可靠性预报。

5) 根据产品的可靠性预测结果提出可靠性改进措施。

6) 进行产品的可靠性设计评估。

7) 在生产过程中根据产品的可靠性保证大纲的要求严格进行质量管理和控制。

8) 在产品使用过程中,应有严格的岗位培训制度和严格的使用维修制度。

9) 建立尽可能完善和严密的故障记录制度和数据收集及质量反馈网。

通过以上九个环节的严格控制,就可以得到较为满意的产品可靠性。

§ 2 可靠性理论的发展过程

可靠性理论不是在实验室里通过什么实验发现的,也不是某人做数学游戏时推导出来的,而是人们在经过了工程教训后得到了某种体会,又经过不懈的研究发展起来的一门新兴学科。

从传统的观念来看,只要设计正确,产品就能发出其预定功能。如果没有特殊的外在原因,产品不会发生什么故障。在第二次世界大战以前,电子技术还没有广泛地被采用,情况确实如此。只要精心制造,一般产品都还比较耐用。因而,可靠性问题没有被人们所认识。战争爆发后,以现代电子技术为先导的各种新技术源源不断地涌进实用领域。在新的武器不断出现的同时,新的问题也在不断地暴露。如战时美国运往远东的飞机电子装置中,有 60% 在到达时就发生了故障。备品中的 50% 以上实际上无法使用。空军的轰炸用电子装置中很少能 20h 无故障地工作,海军装备中的电子装置有 70% 不能正常工作,日本的新型驱逐舰的涡轮叶片屡屡发生断裂事故,德国的 V₁、V₂ 火箭在试验中也出现过不少麻烦,这一切都不能不令人深思。1943 年,德国科学家拉瑟(R. Lusser)在开发 V₁、V₂ 型火箭时已经意识到了可靠性问题。然而由于不久德国战败,可靠性并没有在德国马上开花结果。拉瑟本人也于战后被送到美国,协助美军进行导弹开发工作,并继续对导弹的可靠性进行深入的研究。后来,他又率先提出了用定量的、统计的方法来处理可靠性问题的基本原理,奠定了现代可靠性技术的基础。因而,拉瑟被誉为“可靠性技术之父”。

二战时美军电子装置的频频故障,使得美军不得不正视这个问题。1950 年,美国陆海军共同开发局设立了电子装置可靠性调查委员会,由陆海空三军人士及民间专家担任委员,承担起对问题作全面、彻底研究的使命。从此,可靠性问题被正式提到了议事日