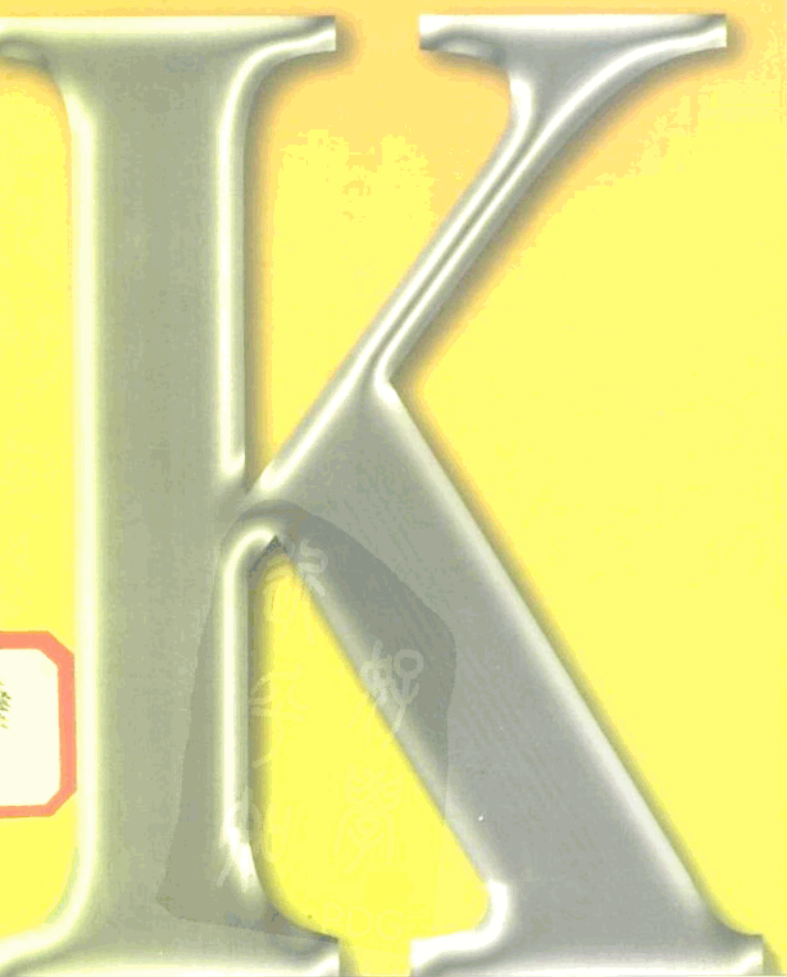


可靠性技术的应用

马运义 徐秉权 孙恪章 全永芳 编著



KEKAOXING JISHU DE YINGYONG

391096

M 39

可靠性技术的应用

马运义 徐秉权 编著
孙恪章 全永芳



国防工业出版社

· 北京 ·

DW39/18
图书在版编目(CIP)数据

可靠性技术的应用/马运义等编著. —北京:国防工业出版社, 1996. 4

ISBN 7-118-01554-7

I. 可… I. 马… III. 可靠性理论-应用
N. TB114. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 20347 号

国防工业出版社发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

邮政编码 100044

河北三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

开本 787×1092 1/32 印张 5% 114 千字

1996 年 4 月第 1 版 1996 年 4 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 6.80 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

序 言

人类社会在不断前进,科学技术也在迅猛发展。人类所使用的各种产品越来越复杂,产品中采用高新技术也越来越多,于是人们对产品就提出了能长期可靠使用的要求。对于武器装备而言,国内外的大量实践经验表明,现代化的高技术武器装备的高性能,只有具备了高可靠性才能真正发挥出来。因此,高度重视和大力强化武器装备研制的可靠性工作,已成为进一步推进国防现代化建设的紧迫任务。所以,我们必须从过去单一追求产品性能指标的观念转变到综合考虑产品的性能、可靠性、维修性、安全性和经济性等诸方面权衡的观念上来;必须从过去“符合性”质量观念转变到以“长时期保持良好性能”即可靠性和“最佳的寿命周期费用”为核心的新质量观念上来。众所周知,工程项目和系统装备的可靠性首先是设计出来的,然后在制造中予以实现,在使用中得以体现,这就需要在研制过程中运用可靠性技术开展一系列可靠性工程的实践。

本书以舰船研制为对象来阐述可靠性技术的应用。

舰船是海上作战的武器装备,可谓现代化大工业的缩影,现代科学技术的结晶。它比之一般产品要复杂得多,不仅要适应海上生活的需要,而且要适应海上作战的需要,因此它的可靠性显得更为重要。如何提高舰船装备的可靠性,已成为摆在广大舰船科技人员面前一个极其重要的课题。

自 60 年代以来,航天、航空、电子、机械等高新技术产业部门,对可靠性技术都有比较好的应用,并取得了实际效果。但在应用可靠性技术提高舰船装备的可靠性方面则研究得较少。本书正是以舰船可靠性工程的实践经验,向读者展示了开展舰船装备可靠性管理、设计和试验等工作项目的有益尝试,从而可作为舰船行业科技人员、管理人员和教师的实用参考书。相信本书的出版,将会推动舰船技术产业部门开展可靠性工作更上一层楼。

张盛铎

前 言

可靠性是产品的最重要的指标。可靠性工程和管理从 40 年代开始,得到迅速发展,至今已成为一门新兴的综合性学科。

在我国,自从国家军用标准 GJB450—88《装备研制与生产的可靠性通用大纲》发布以后,国防工业系统的可靠性工程研究与应用的步伐大大加快。可靠性工程的重要性和显著效果已越来越为研制、制造和使用部门所关注。

本书以舰船研制为对象来阐述可靠性技术的应用。

舰船(艇)是军事装备的一个重要组成部分,是极其复杂的武器装备和系统。但是,我国的舰船可靠性工程研究起步较晚,无论是基础理论,还是工程应用,水平均不高。因此,中国船舶工业总公司和海军对舰船(艇)可靠性工程研究给予很大的重视。

本书结合舰船(艇)型号研制和建造过程中贯彻《军工产品质量管理条例》和《装备研制与生产的可靠性通用大纲》,开展可靠性工作的实践,从舰船(艇)工程应用和管理角度出发,较全面而系统地介绍了可靠性工程的重要意义、基本概念和理论,以及可靠性管理、设计和试验的基本原理和方法。本书既配有理论性背景材料,又配有计算方法和实例,具有理论与实用相结合、可操作性强之特点,并兼顾了舰船科研设计、工厂和使用诸部门的不同要求,突出了舰船可靠性工程的特点。

同时,考虑到现代舰船(艇)广泛应用计算机,使软件和软件可靠性显得越来越重要,故本书既以硬件可靠性为主作了阐述,还概述了软件可靠性的基本概念。全书共八章,约十万字,其中第一章和第八章由马运义编写;第二章和第七章由全永芳编写;第三章和第四章由徐秉权编写;第五章和第六章由孙恪章编写;最后,由马运义统稿。

在本书编写过程中,我们得到了中国船舶工业总公司七院 701 研究所、大连造船厂等单位的热情支持,国防科工委海军装备技术局总工程师张盛铎为本书撰写了序言,并承蒙 701 研究所副总工程师李建球研究员级高工、大连造船厂陆宝金高工对全书进行了认真审查,提出了许多具体的修改意见,使我们得到很多教益。同时,我们得到了中国船舶工业总公司干部培训教材指导委员会委员、701 研究所教育培训中心主任王允明高工的鼎力相助。在此,向他们表示衷心感谢!

在本书编写中,参考和引用了有关专著和文献,借此,向原著作者们致以敬意!

我们期望读者能从本书中汲取有益的启示。限于编者的水平,书中不当和错误之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

内 容 简 介



本书以舰船研制为对象,从工程应用和管理角度出发,较全面系统地介绍了可靠性工程的意义、基本概念和理论,阐述了开展可靠性管理、设计和试验的基本原理和方法。它兼顾了科研设计、生产和使用诸部门的不同要求,突出了实用性、可操作性和可靠性工程的特点,理论与实际相结合,用实例对各可靠性工作项目作了深入浅出的阐述,而且在以硬件为主阐述可靠性技术及其应用的同时,还概述了软件可靠性的基本概念及提出了软件可靠性研究的诸多课题。

本书可作为工业系统主管部门、研究所和工厂的领导干部与管理人员的培训教材和工程实用指南,也可供工程技术人员、有关院校师生参阅。

目 录

第一章 可靠性工程概述	(1)
1.1 可靠性定义	(1)
1.2 可靠性的分类及维修性、有效性	(4)
1.3 可靠性特征量	(8)
1.4 可靠性工程和可靠性管理	(20)
1.5 舰船可靠性工程	(22)
1.6 开展可靠性工作的意义	(24)
1.7 可靠性的发展概况	(28)
第二章 研制过程的可靠性管理	(32)
2.1 研制过程可靠性管理的意义	(32)
2.2 制定可靠性工作计划	(33)
2.3 可靠性管理机构	(35)
2.4 对转承制方和供应方的监督和控制	(36)
2.5 可靠性大纲评审	(38)
2.6 故障审查组织	(39)
2.7 确定可靠性关键件和重要件	(39)
第三章 产品可靠性保证大纲的编制	(42)
3.1 产品可靠性保证大纲的重要作用	(42)
3.2 编制产品可靠性保证大纲的基本原则	(43)
3.3 编制产品可靠性保证大纲的基本要求	(46)
3.4 编制产品可靠性保证大纲时对可靠性工作项目的 剪裁和指南	(52)

3.5	舰船产品可靠性保证大纲的主要纲目	(57)
3.6	舰船产品可靠性保证大纲编制举例	(62)
第四章	可靠性设计	(68)
4.1	可靠性设计的基本概念	(68)
4.2	产品可靠性指标的确定	(69)
4.3	可靠性模型的建立	(70)
4.4	可靠性预计和分配	(74)
4.5	故障模式及影响分析(FMEA)	(79)
第五章	制造过程的可靠性管理	(81)
5.1	制造过程可靠性管理的意义	(81)
5.2	制造过程可靠性管理的内容	(82)
5.3	产品质量保证大纲的编制	(85)
5.4	制造过程的可靠性保证	(89)
5.5	舰船建造质量保证大纲编制举例	(93)
第六章	可靠性试验	(96)
6.1	可靠性试验的目的	(96)
6.2	可靠性试验的分类	(96)
6.3	可靠性试验的管理	(99)
6.4	可靠性评估	(108)
第七章	可靠性信息管理	(111)
7.1	可靠性信息管理的重要性	(111)
7.2	可靠性信息管理的内容及其方法	(112)
7.3	可靠性信息的闭环管理	(116)
第八章	软件可靠性概述	(118)
8.1	开展软件可靠性研究的意义	(118)
8.2	软件可靠性概念	(121)
8.3	软件可靠性工程	(128)
8.4	软件可靠性管理	(135)
8.5	结束语	(145)

附录	(146)
一、我国电子元器件故障率等级表	(146)
二、 $R(t)$ 、 $F(t)$ 、 $f(t)$ 、 $\lambda(t)$ 的相互关系表	(146)
三、国内外各类设备可靠性水平	(146)
四、美国军用可靠性标准	(150)
五、国际电工委员会可靠性标准	(152)
六、我国可靠性国家标准	(153)
七、我国可靠性国家军用标准	(156)
八、我国舰船装备可靠性标准	(157)
九、IEEE 软件工程标准	(158)
十、我国软件工程标准体系	(159)
十一、我国军用软件工程现有标准	(160)
主要参考文献	(161)

第一章 可靠性工程概述

1.1 可靠性定义

1.1.1 可靠性的概念

可靠性并不是一个新概念,自古有之。人们在选购一种商品时,通常不仅要考虑它的性能、价格,还要顾及它能使用多长时间,是否容易坏,坏了是否容易修。随着社会的进步和生活的现代化,尤其是家用电器的普及,人们谈论可靠性就更多了,总希望所购之物能经久耐用,不出毛病,维修方便。人们对日常生活用品有如此要求,那么,对一艘舰船,一架飞机,一枚导弹,一项工程,当然,更有顶用、可靠、不出故障、容易维修等的要求。这些要求,都是关于可靠性的一些比较主观、模糊的定性概念。社会的发展,科技的进步,特别是军用科技的发展和一些血的教训,促使人们在“实践—认识—再实践—再认识”的过程中,对可靠性的概念逐渐深化、提高,形成了“可靠性”这个专门术语,并且由概念上升为理论,由主观、定性的概念上升为客观、定量的概念,逐步确立了“可靠性工程和管理”这门新兴的学科。那么,什么叫可靠性呢?

1.1.2 可靠性的定义

根据国际通行的规定和我国的相应标准,可靠性的定义为: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。

上述定义也即通常所采用的“三规定一能力”的可靠性定义,它包含了与可靠性密切相关的五个要点——产品、条件、时间、功能、能力。

我们要领会可靠性定义的内涵,必须了解可靠性的这五个要点的含义。

一、产品——该定义的第一要点

所谓“产品”,是指可靠性研究的对象。其范畴是广泛的,既可指日常生活用品,也可指舰船及其动力、通信、导航、作战等系统及组成这些系统的分系统、分机、部件、元器件。这些都是“硬件”产品。“软件”作为一种新兴的产品(即软件产品)也有可靠性问题,故可靠性定义中的产品是包括软件的。在研究可靠性时,应首先明确所研究的对象,是指某个元器件,还是指某个分机、设备或系统。在某些情况下,还把人和机组成的人机系统看作一个产品。带软件的硬件,其可靠性还要同时考虑其所带软件的可靠性。

二、规定的条件——该定义的第二要点

所谓“规定的条件”,是指产品的环境条件、使用条件、维修条件和工作方式等。环境条件包括地点、场合、温度、湿热、冲击、振动、颠簸、盐雾、霉菌、负荷、海况等;使用维修条件包括人机关系、维修设备和技术水平等;工作方式包括连续工作、间断工作等。很显然,在不同的条件下,同一产品的可靠性是不同的,离开具体条件谈论可靠性是无意义的。例如,法国的16VPA6型柴油机在水面舰船上可以发出3675kW(5000马力)以上的功率,而在潜艇通气管航行状态下发出的功率要比这低得多。另外,同一产品在实验条件和现场使用条件下的可靠性往往不一样,有时相差几十倍。规定的条件是可靠性定

义中最重要而又最易被忽略的条件,应引起充分注意。

三、规定的时间——该定义的第三要点

所谓“规定的时间”,是指产品的使用期和储备期。它是该定义的核心,将可靠性用时间直接或间接地描述出来。产品使用的时间越长,出故障的频率越高,可靠性就越差。一个产品的可靠性,由于规定的时间不同,会有很大的不同。根据不同的产品和不同的使用目的,其“时间”的含义也有所不同。时间参数可用距离、循环次数、时间单位或其他与时间相关的量来表示。

四、规定的功能——该定义的第四要点

所谓“规定的功能”,是指在论证、研制时赋予产品的功效和作用。通常用产品的性能指标来表征。例如, C^3 ^① 系统应具有信息采取、图象编辑、敌我识别、目标指示、作战指挥、辅助导航等功能。规定的功能不同,产品的可靠性也就不同。当产品不能按规定的功能运行或丧失规定的功能时,称之为故障状态或失效,也即不可靠状态。因此,“功能”实际上是规定产品的失效判据,也是进行可靠性分析的前提。

五、能力——该定义的第五要点

所谓“能力”,是指产品可靠性在上述三个“规定”上的综合体现,也是度量可靠性的总体性指标。上述定义刻画出可靠性是产品的一种内在的能力,表征了可靠性是产品的一种特性和产品质量的重要组成部分。这种能力不仅要定性地予以理解,更重要的是还必须要有定量的表达。由于产品故障具有随机性,使得可靠性定义中的“能力”具有统计学的意义。因此,

① C^3 系统是一种在军事机构中作用的指挥、控制和通信系统,是一个包括战略和战术系统的通用术语。

可靠性定量的描述必然要使用概率术语和概率方法进行研究。

1.2 可靠性的分类及维修性、有效性

根据不同的使用要求,不同的角度,不同的产品,通常将可靠性分成以下几类:

1.2.1 狭义可靠性和广义可靠性

这是根据可靠性定义的范畴和涵义之广狭来划分的。

狭义可靠性即 1.1 中可靠性定义所确立的含义——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。它实质上表征了产品在某一规定时间内发生故障的难易程度。

广义可靠性是从工程概念出发所论及的具有更广泛意义的可靠性。国家标准将广义可靠性定义为:产品整个寿命周期内完成规定功能的能力。它包括了狭义可靠性和维修性,故可用下式表示:

$$\text{广义可靠性} = \text{狭义可靠性} + \text{维修性}$$

维修性是产品设计和装配的一种特性。它赋予产品一种便于维修的独有素质,使可维修产品在出了故障后经维修可继续使用,从而提高产品的可靠性。国家标准对维修性定义为:产品在规定的条件下和规定的时间内,按规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到能完成规定功能的能力。当前,维修性技术发展很快,已逐渐成为一个独立的分支,甚至可与可靠性工程相提并论了。

广义可靠性实质上就是产品的有效性。有效性(也有的称有用性)定义为:可以维修的产品在某时刻具有或维持规定功

能的能力。实际上,有效性是将一个可维修产品的可靠性和维修性有机地结合起来,用一个统一的尺度来评价产品在全部使用过程中能有效工作的程度和比率。它表征着产品正确工作的能力。

应当注意:在一般场合,人们所说的可靠性是指广义可靠性,而在专业场合及定量计算时,可靠性又多指狭义可靠性。

1.2.2 固有可靠性和使用可靠性

这是根据可靠性形成的过程来划分的。

固有可靠性,是指由设计奠定、制造实现和保证的可靠性,记作 R_I 。它所考虑的中心问题是狭义可靠性。显然,固有可靠性是产品的固有属性,奠定了使用可靠性的基础,处于十分重要的地位。固有可靠性不高,相当于“先天不足”。在产品寿命各阶段中,设计阶段对可靠性影响最大。如果设计阶段不认真进行可靠性设计,则以后无论怎样精心制造,严格管理,也难以保证其可靠性。制造只能尽可能保证实现设计的可靠性;使用则是维持可靠性,尽量减少可靠性降低。

使用可靠性,是指产品在使用过程中,因受环境条件、维修方式及人为因素的影响所能达到的可靠性,记作 R_u 。它所考虑的中心问题是广义可靠性。显然,一般 $R_u < R_I$,并且随使用时间的增长, R_u 将逐渐降低。当 R_u 下降到规定的极限,则要检修或更换部件,使产品可靠性提高到合格水平,再投入使用。如此往复,直至报废。

据美海军统计,舰船故障中,设计不良造成的占总故障数的40%,器件选用占30%,制造占10%,使用维修占20%。可见,只有 R_I 达到一定水平,才有可能保证一定水平的 R_u 。

有人还将 R_I 和 R_u 综合起来称为工作可靠性,记作 R_O 。

显然, $R_0 \approx R_l R_u$ 。

1.2.3 硬件可靠性和软件可靠性

这是为适应软件产品迅速发展而提出的一种分类法。

所谓“硬件”,是指在传统上被看作是从完全相同的器件总体中取出的若干部分的一种组合。

前面所述的可靠性定义均指硬件可靠性。

所谓“软件”,是指由书面的或可记录的信息、概念、文件或程序组成的产品。

软件可靠性定义可表述为:在规定的条件下和规定的时间内,软件成功地完成规定功能的能力(概率)或不引起系统故障的能力(概率)。

在硬件—软件系统中,有人提出系统的可靠性可表示为:

$$R_{SY} = R_S R_H R_m \quad (1-1)$$

式中

R_{SY} ——系统可靠性;

R_S ——软件可靠性;

R_H ——硬件可靠性;

R_m ——操作者误差。

软件可靠性不同于硬件可靠性。例如,软件不会因为疲劳、老化等发生故障;软件故障率不会随时间增长而单调下降等。随着软件产品的发展,软件可靠性已成为可靠性研究的重要方面。

关于软件可靠性的叙述请参阅本书第八章。

1.2.4 基本可靠性和任务可靠性

产品的可靠性设计目标,主要是为了提高产品的使用效