

孙伟 高连华 曹玉坤 姚新民 编著



UANGJIACHELIANGKEKAOXINGLILUNYUYINGYONG

装甲车辆可靠性 理论与应用

兵器工业出版社



装甲车辆可靠性 理论与应用

王 伟 著

装甲车辆可靠性理论与应用

孙伟 高连华 曹玉坤 姚新民 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书论述了装备可靠性的重要意义,可靠性与相关学科的关系,装甲车辆可靠性论证、设计、分析及试验验证技术等。主要内容包括:可靠性、维修性、保障性要求论证,可靠性设计,故障模式影响及危害性分析和故障树分析,人一机系统可靠性,可靠性试验与验证技术等。

本书可供高等军事院校车辆工程专业的本科及研究生使用,也可作为从事装甲车辆可靠性论证、设计与分析、试验验证工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

装甲车辆可靠性理论与应用/孙伟,高连华等编著.

北京:兵器工业出版社,2006.4

ISBN 7-80172-704-5

I. 装... II. ①孙... ②高... III. 装甲车—可靠性
理论 IV. TJ811

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 070506 号

出版发行:兵器工业出版社

发行电话:010-68962596, 68962591

邮 编:100089

社 址:北京市海淀区车道沟 10 号

经 销:各地新华书店

印 刷:北京银祥福利印刷厂

版 次:2006 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

印 数:1—1050

责任编辑:周宜今

封面设计:李 晖

责任校对:全 静

责任印制:赵春云

开 本:787×1092 1/16

印 张:16.25

字 数:413 千字

定 价:46.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

可靠性作为产品质量的重要特性已经受到极大重视,可靠性工程得到广泛深入的开展,成为产品设计的重要内容。武器装备的可靠性,作为武器装备的质量指标已提到与武器装备性能同等重要的地位来对待,列入战术技术性能指标体系。一种优良的装备不仅要具备所需要的性能,而且还要能够长期保持这种性能,使用中不出故障或少出故障,发生故障后方便维修,使功能迅速得到恢复,易于保障。从而使其具有较高的作战效能及较低的寿命使用费用。

为适合装甲车辆可靠性教学的需要,我们撰写了此书,系统地吸收了其他行业相关的先进可靠性技术内容,并认真总结装甲装备近 20 年来开展可靠性工程所取得的成果和经验,概括了可靠性的基本内容。撰写中体现了如下特点:①除了使用于电子产品的可靠性技术外,还强调了机械产品可靠性的相关内容,以适应集机、电、液等于一体的装甲装备的需求。②突出了使用方在武器装备可靠性工程中的地位和作用,增加了可靠性定性定量要求及指标确定的一般程序和方法。专门一章撰写了人的可靠性,为装备操作使用人员提供借鉴。③为使读者提高可靠性的兴趣和加深对可靠性的理解,某些章节增选了可靠性的案例分析。④鉴于装备可靠性与维修性、保障性密不可分,为叙述方便,在某些章节也提到装备的维修性、保障性。如第 3 章定性定量要求一节就将可靠性、维修性、保障性三者的要求一起阐述。

全书共 8 章,其中第 1 章、第 3 章由高连华撰写,第 4 章、第 5 章和第 6 章、第 7 章部分内容 by 孙伟撰写,第 2 章、第 8 章由姚新民撰写,第 6 章、第 7 章部分内容 by 曹玉坤撰写,全书由孙伟统稿并审核。

由于作者知识水平、工作经验和撰写时间所限,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

在本书的编写过程中参阅了大量的文献资料,对相关作者表示衷心感谢!

作者

2006 年 2 月

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 可靠性的意义	(1)
1.2 可靠性工程的发展	(3)
1.3 可靠性的基本概念	(5)
1.3.1 可靠性定义	(5)
1.3.2 故障	(5)
1.3.3 可靠性定量表述的特点	(6)
1.4 可靠性与相关学科的关系	(6)
1.4.1 可靠性与维修性、保障性	(6)
1.4.2 可靠性与性能特性	(7)
1.4.3 可靠性与质量	(7)
第2章 可靠性相关概念的数学描述	(8)
2.1 可靠度函数	(8)
2.2 故障分布函数	(8)
2.3 故障密度函数	(9)
2.4 故障率函数	(9)
2.5 常用寿命分布	(11)
2.5.1 二项分布	(12)
2.5.2 泊松分布	(13)
2.5.3 指数分布	(14)
2.5.4 正态分布	(16)
2.5.5 威布尔分布	(17)
2.5.6 对数正态分布	(19)
第3章 可靠性、维修性、保障性 (RMS) 要求论证	(22)
3.1 引言	(22)
3.2 几个基本概念	(22)
3.2.1 装备的寿命剖面和任务剖面	(22)
3.2.2 基本可靠性和任务可靠性	(25)
3.2.3 故障判据与耐久性损坏判据	(26)
3.2.4 目标值/门限值, 规定值/最低可接受值	(31)
3.2.5 保障方案	(32)
3.3 RMS 要求	(32)
3.3.1 RMS 定性要求	(33)
3.3.2 RMS 定量要求	(33)

3.4 参数选择与指标确定的方法和程序	(44)
3.4.1 参数选择和指标确定的依据	(44)
3.4.2 参数选择和指标确定的要求	(44)
3.4.3 武器装备 RMS 要求论证的一般原则	(45)
3.4.4 RMS 要求论证的程序和方法	(45)
3.5 案例分析——装甲装备推进系统可靠性、维修性、保障性参数选择与 指标确定示例	(49)
3.5.1 系统描述	(49)
3.5.2 可靠性、维修性、保障性参数选择和指标确定的依据及约束条件	(49)
3.5.3 可靠性、维修性、保障性使用参数选择	(51)
3.5.4 可靠性、维修性、保障性指标确定程序	(51)
第4章 可靠性设计	(54)
4.1 系统的可靠性设计	(54)
4.1.1 系统的组成	(54)
4.1.2 系统建模	(54)
4.1.3 系统可靠性预计	(62)
4.1.4 系统可靠性分配	(67)
4.2 机械产品的可靠性设计	(73)
4.2.1 概述	(73)
4.2.2 典型机械产品可靠性设计一般流程	(77)
4.2.3 机械产品可靠性分配与预计	(86)
第5章 故障模式影响及危害性分析和故障树分析	(103)
5.1 故障模式	(103)
5.1.1 相关概念	(103)
5.1.2 故障模式的分类	(103)
5.1.3 装甲车辆故障模式	(104)
5.2 故障模式影响及危害性分析	(105)
5.2.1 故障模式影响分析 (FMEA)	(105)
5.2.2 危害性分析	(109)
5.2.3 确定重要件和关键件	(112)
5.2.4 FMECA 应用举例	(113)
5.2.5 制造过程中的 FMECA	(114)
5.3 损坏模式影响分析	(116)
5.3.1 基本概念	(116)
5.3.2 损坏模式与影响分析	(117)
5.3.3 某型装甲装备损伤模式影响分析	(123)
5.4 故障树分析	(128)
5.4.1 故障树图形的标志符号	(128)

5.4.2	故障树分析的步骤	(131)
5.4.3	确定故障树最小割集的算法	(135)
5.4.4	故障树的对偶树及其最小路集	(137)
5.4.5	顶事件概率的计算	(139)
5.4.6	顶事件故障率的计算	(139)
5.4.7	故障树分析法的优缺点	(141)
5.4.8	FTA 应用举例	(142)
5.5	FMECA 与 FTA 的综合分析法	(144)
第6章	人一机系统可靠性	(149)
6.1	引言	(149)
6.2	人机可靠性的基本概念	(149)
6.2.1	人机可靠性	(149)
6.2.2	人的可靠性度量	(150)
6.2.3	人因差错	(151)
6.3	人因差错判断准则	(160)
6.3.1	人因差错分类	(161)
6.3.2	人因差错判断准则	(161)
6.4	装甲装备人一机—环境系统及与人的可靠性的关系	(162)
6.4.1	装甲装备人一机—环境系统的特点	(162)
6.4.2	装甲装备人一机—环境的相互影响	(164)
6.5	人因故障案例分析	(167)
6.5.1	人因故障案例分析的目的	(167)
6.5.2	典型案例分析	(167)
第7章	可靠性试验与验证技术	(174)
7.1	概述	(174)
7.2	可靠性试验分类及要素	(175)
7.2.1	可靠性试验分类	(175)
7.2.2	可靠性试验要素	(176)
7.3	可靠性工程试验	(176)
7.3.1	环境应力筛选试验	(176)
7.3.2	可靠性增长试验	(179)
7.4	可靠性统计试验	(186)
7.4.1	可靠性验证试验方案的类型	(187)
7.4.2	选择试验方案的原则	(193)
7.5	装甲车辆可靠性验证试验	(194)
7.5.1	可靠性验证试验应注意的问题	(194)
7.5.2	可靠性验证的一般流程	(195)
7.5.3	验证方法	(195)

第 8 章 可靠性数据的收集与分析	(213)
8.1 引言	(213)
8.2 可靠性数据收集内容和方法	(213)
8.2.1 可靠性数据的来源及特点	(213)
8.2.2 可靠性数据收集的要求和程序	(217)
8.3 可靠性数据分析的基本概念和方法	(219)
8.3.1 可靠性数据分析的基本概念	(219)
8.3.2 可靠性数据分析的基本方法	(221)
附表 1 标准正态分布表	(243)
附表 2 Γ 函数分布表	(245)
附表 3 卡方 (χ^2) 分布表	(247)
附表 4 D_n 的极限分布表	(248)
附表 5 Cramer - Von Mises 拟合优度检验临界值 $C^2(M, \alpha)$	(249)
参考文献	(250)

第 1 章 绪 论

1.1 可靠性的意义

装备质量是指装备的一组固有特性满足要求的程度。其固有特性包括功能特性及可靠性、维修性、保障性等，前者是指武器装备的战术技术性能，如火炮的射程、精度，坦克的最大行驶速度、加速度、最大行程，电台的通信距离，装甲的防护能力等。后者是装备在作战与训练的环境中，不出故障，少出故障，寿命长，出了故障易于维修，快速地恢复其功能，使用中易于保障，对保障资源需求少，且容易获取。所以，可靠性是与装备系统功能特性同样重要的一种质量特性。其重要意义在于：

(1) 质量第一是武器装备建设的基本原则。装备质量是关系生死存亡、战争胜败的大事。1986 年 1 月 28 日，美国“挑战者”号航天飞机因为燃料系统密封圈故障，起飞 76 s 时爆炸，造成 7 名字航员丧生和 12 亿美金的直接经济损失。2000 年 8 月 12 日，俄罗斯“库尔斯克”号核潜艇由于鱼雷爆炸导致沉没，艇上 118 名官兵全部罹难。2003 年 2 月 1 日，美国“哥伦比亚”号航天飞机，因为表面的隔热层局部脱落，造成返回大气层时机毁人亡。所有这些事故，都造成了巨大的经济损失和严重的后果。

(2) 提高装备可靠性，有效地降低寿命周期费用。寿命周期费用是装备寿命周期各阶段投入费用的总和。即包括装备论证、研制、生产、使用与保障以及退役处理所支付的所有费用。影响装备质量的各种因素都是影响寿命周期费用的因素，不论装备的功能特性还是可靠性的获得或提高，都是以费用消耗为代价的。随着装备性能的提高，装备的购买费用十分昂贵，使用与保障费用也急剧增长，使得装备的费用需求与所提供的有限军费之间的矛盾十分突出。根据过去装备寿命周期费用的统计，装备部署部队后的使用与保障费用约占总费用的 50% ~ 80%。也就是说，使用与保障费用是装备研制与采购费用的 1 ~ 4 倍。表 1-1 给出几种典型装备的费用比例。

表 1-1 装备研制采购费用和使用保障费用

装备类型	装备研制及采购费用占 寿命周期费用比例 (%)	装备使用与保障费用 所占寿命周期费用比例 (%)
战斗机	30 ~ 50	50 ~ 70
驱逐舰	25 ~ 40	65 ~ 70
装甲车辆	20 ~ 30	70 ~ 80

而且，随着装备服役年限的延长，其使用与保障费用所占装备寿命周期费用的比例会更高。其中装备故障率高是造成使用与保障费用增长的主要因素。图 1-1 说明装备可靠性与寿命周期费用之间的关系。在 A 点左半部分，随着装备可靠性的提高，采购费用上升，而使用与保障费用降低，从而使寿命周期费用下降。

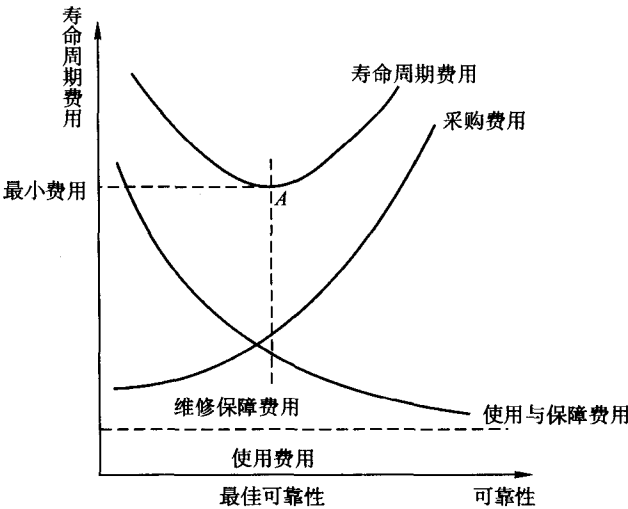


图 1-1 可靠性与寿命周期费用的关系图

(3) 可靠性差，装备部署后难以形成战斗力。产品的可靠性是设计出来的，生产出来的，管理出来的。根据日本电子行业的统计，产品发生故障的原因中，设计占 80%，元器件占 15%，制造工艺占 5%。美国海军电子实验室统计，产品发生故障的原因中，设计占 40%，元器件占 30%，使用维护占 20%，制造工艺占 5%。上述统计资料说明，可靠性设计对产品可靠性有重要影响。装备型号研制中经过实施可靠性增长，到产品设计定型阶段，仍有达不到可靠性设计指标要求的情况，拖延了研制进度。当可靠性水平不高的装备部署部队后，难以形成战斗力，且战备完好性低，给装备保障造成了很大压力。20 世纪 70 年代，美国与联邦德国联合研制的新型主战坦克 MBT—70，以失败而告终，其可靠性达不到要求是其原因之一。造成这种后果的因素，如：在型号研制中，引入不成熟的技术；缺乏足够的部件试验考核及外场实际使用环境下的试验考核等。

(4) 随着装备性能的提高，对装备可靠性的要求也在提高。这主要表现在：① 武器装备的高性能，使得装备更加复杂化。从可靠性的观点看，装备的结构复杂导致系统可靠性的降低。装备系统是由各分系统、设备、零部件和元器件所组成。当任一组成单元出现故障都会导致系统发生故障时，装备的复杂化会造成系统可靠性大幅地下降。图 1-2 说明系统的组成单元数 N 增加，可靠性下降。所以，为保证装备系统可靠性，必须提高每个组成单元的可靠性。② 装备系统的作战使用环境更加恶劣和严酷。装甲车辆要求在环境温度 $-40 \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 中正常工作。既能保证低温条件下发动机的冷起动性能，又要在高温条件下，动力舱不过热。这就要求发动机冷却系统风扇能够随外界环境温度的变化，调节风扇的转速。又如装甲车辆的高机动性要求，其越野速度已由 10 km/h 提高到 $35 \sim 40\text{ km/h}$ ，行驶中车辆的振

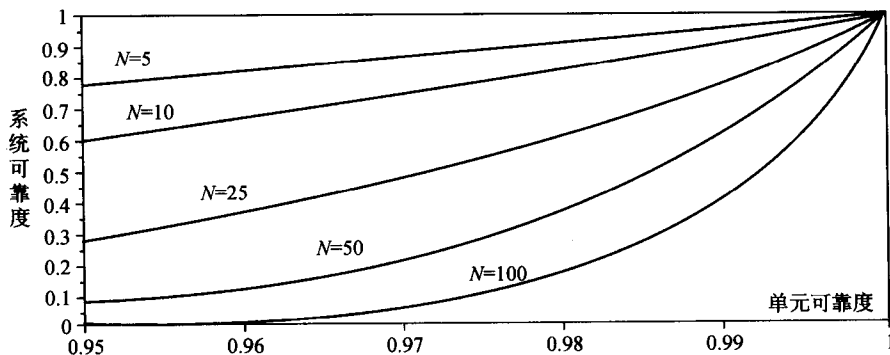


图 1-2 系统组成单元数与可靠性的关系

动明显加大,为使乘员及内部机件持续可靠地工作,必须提高车辆的悬挂性能及采取各种隔振减震技术措施以保证装甲车辆的高可靠性。③ 高新技术装备提出了更高可靠性要求。武器系统的持续无故障任务时间加长,整机、元器件、零部件有更长的使用寿命。如车辆传动系统摩擦片、关键部位的高速旋转件密封结构,其寿命应达到一个大修期;通信网络的关键任务连续工作而要求不停机等。所以高性能装备必须有高可靠性。1991年美国国防部指令《国防采办管理政策和程序》中,把可靠性定义为“系统及其组成部分在无故障、无退化或不要求保障系统的情况下执行其功能的能力”。说明对装备可靠性提出了更高要求。对于民用产品来说高可靠性是提高产品市场竞争力的有力因素。

1.2 可靠性工程的发展

可靠性来源于工程需求的发展,与产品使用寿命、质量检验、故障频发的实际工程问题紧密联系在一起。早在 20 世纪 50 年代,美国的武器装备,尤其是电子设备,在作战使用中故障多有发生,甚至发现装备经过运输到达目的地开箱检测就有许多元器件故障。1952 年美国国防部成立电子设备可靠性咨询组 (AGREE),提出从产品设计、试验、生产到交付、储存和使用的可靠性发展计划,并于 1957 年发表了“军用电子设备的可靠性”报告,全面阐述了产品可靠性设计、试验鉴定、管理的程序和方法,确定了美国军用产品可靠性工程的发展方向,为电子产品可靠性理论与应用奠定了基础。接着在美国多种武器装备研制中,对可靠性提出了定性定量要求,制订了如 MIL-HDBK-217、MIL-STD-781、MIL-STD-785 等关于可靠性设计、试验和管理的标准,开展了故障模式及影响分析 (FMEA) 和故障树分析 (FTA) 等可靠性分析工作,使可靠性工程获得了较全面的发展,使研制的武器装备可靠性获得了显著的提高。为了可靠性管理的规范化和制度化,并把可靠性与提高装备的技术技能、费用和研制进度摆在同等重要的地位,1980 年,美国国防部颁发了指令文件《可靠性及维修性》,1985 年美国空军制订了《可靠性与维修性 2000 年行动计划 (R&M2000)》,明确提出了实现提高武器装备作战能力,改善生存性、降低维修保障人员要求和使用保障费用等目标。经过数年的实践,在 1991 年海湾战争中,由于 R&M2000 计划的

实施，有效地提高了装备的战备完好性。

日本可靠性工程的开展，与产品质量管理紧密结合，应用对象以民用产品为主，注重实用化，把对故障机理、故障消除和预防与可靠性设计分析结合在一起，建立可靠性推进机构（如日本科技联盟下属的可靠性研交会、可靠性数据研交会、可靠性试验委员会、各企业的可靠性专业委员会等）并通过一系列的可靠性活动，贯彻产品可靠性的目标要求。可靠性设计中的预计和分配，主要采用在原有产品基础上作对比分析。汽车行业根据零部件功能的重要性和维修费用将其区分为重要的安全性零部件（刹车、转向）、重要功能零部件（动力、传动等）及一般零部件，确定可靠性设计的目标。对生产企业，普遍对可靠性试验、可靠性数据收集、可靠性技术培训和可靠性管理高度重视。使产品可靠性水平不断提高，增强产品在国际市场的竞争力。

俄罗斯及苏联对可靠性的研究开展较早，尤其是对机械可靠性十分重视，把产品的无故障性、耐久性、储存性、维修性都包含在可靠性定义之中，所以其可靠性是广义的。从 20 世纪 70 ~ 80 年代，相继制订了一系列的国家标准，用以推动可靠性的技术与管理工作。

我国可靠性工程，特别是武器装备的可靠性与维修性，在 20 世纪的 80 年代，获得了较快的发展。1988 年颁布了《装备研制与生产的可靠性通用大纲》（GJB450 - 88）、《装备维修性通用规范》、《维修性管理大纲》、《维修性的基本要求》（GJB3E8.1 - 87、GJB368.2 - 87），标准中规定了武器装备可靠性维修性监督与控制、设计与评审、试验等方面的通用要求和工作项目，为可靠性维修性工程的开展提供了基本依据。

1991 年 5 月国防科工委发布了《关于进一步加强武器装备可靠性、维修性工作的通知》，明确提出了树立以提高武器装备系统效能降低寿命周期费用为目标的新质量观，把装备可靠性维修性摆在与装备性能同等重要的地位。接着于 1993 年国防科工委发布了《武器装备可靠性维修性管理规定》，同时制订颁发了关于装备可靠性维修性一系列的标准，有力地推动了武器装备可靠性工程的开展。

装甲装备技术领域，我国在 20 世纪 80 年代中期，对现役装备进行了可靠性摸底的维修改革。对现役装备通过局部技术改造、增加检测报警装置、零部件表面强化等实施可靠性增长。投入 10 台某中型坦克，历时 18 个月，行驶里程 108 800 km，消耗发动机 10 110 摩托小时，结合部队训练组织试验，拟定了合理的维修保障方案。试验数据统计列于表 1 - 2、1 - 3 中。

表 1 - 2 某中型坦克可靠性统计表

项 目	符 号	单 位	数 据
整车基本可靠性	MMBF	km	210.9
整车任务可靠性	MMBCF	km	1 413.0
发动机基本可靠性	MTBF	h	75.31
发动机任务可靠性	MTBCF	h	681.13
火炮稳定器基本可靠性	MTBF	h	57.76
红外夜视仪基本可靠性	MTBF	h	77.30

表 1-3 某中型坦克推进系统故障比例

名 称	动力分 系统	传动分 系统	行动分 系统	操纵分 系统	电气分 系统	其 他
比例 (%)	21.0	21.0	25.2	6.8	13.0	13.0

20 世纪 90 年代以来在装甲装备型号研制中,将装备的可靠性、维修性、保障性作为论证的重要组成部分。在战术技术指标论证中,同时提出可靠性维修性保障性定性定量要求,按照军用标准中规定的相关内容,实施可靠性工作项目,包括故障模式影响分析,保障方案的拟定,正式提出“装甲装备可靠性维修性大纲要求”,根据装备研制周期的阶段划分,开展可靠性维修性保障性设计评审及试验验证将可靠性提高到一个新的水平。

1.3 可靠性的基本概念

1.3.1 可靠性定义

我国军标把产品的可靠性定义为“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”。产品可以是装备系统也可以是分系统、设备、元器件和零部件,大到一种型号的主战坦克、越野汽车、导弹、飞机、舰船等,小到构成武器装备的火炮、火力控制、发射装置、动力装置、传动装置、冷却系、齿轮轴、集成电路等。“规定条件”包括装备作战使用的环境条件、保障条件。环境条件如温度、湿度、振动、冲击、辐射、电磁干扰、载荷性质、润滑、腐蚀等;保障条件如装备的维修级别、维修设备设施、储存环境、保障资源配套、人员技术等级及训练等。在规定条件中的任一要素,对产品可靠性均有重要的影响。“规定时间”是广义的,可以是天、小时、分钟、公里、弹丸发射次数等。产品随其工作时间的增长,其可靠性是下降的,不同的规定时间内,产品有不同的可靠性。所以,产品可靠性与规定的时间密切相关。“规定功能”就是产品应具备的各项定量要求,如技术指标。

从应用的角度出发,把可靠性分为固有可靠性和使用可靠性。

固有可靠性 (Inherent Reliability): 生产过程中已经确立了的可靠性。它是产品内在的可靠性,是仅考虑承制方在设计和生产过程中能控制的故障事件。它与产品的材料、设计与制造工艺及检验精度等有关。

使用可靠性 (Use Reliability): 综合考虑设计、生产、安装、使用环境、操作水平、保养与维修等因素的影响。用于描述产品在计划的环境中使用的可靠性水平。

1.3.2 故障

可靠性研究内容的本质是研究故障,包括故障发生的条件,发生的规律,防止、清除和控制故障发生的技术与管理措施,故障机理、故障分析、故障统计等。产品规定功能的丧失就导致故障的发生,对于不可修复的产品也称作“失效”,本书对两者不作严格的区分,将产品的技术状态只区分为“故障”和“正常”二元结构。一般是根据拟定的故障判断准则来判定产品是否发生了故障。下面介绍故障的各种分类方法。

故障是指产品或产品的一部分不能或将不能完成预定功能的事件或状态。按故障发生的

性质来区分,有偶然故障和渐变故障。偶然故障是由于材料缺陷、工艺因素、安装等各种偶然因素或因素的组合引起的故障。电子产品及其元器件的故障多属于偶然故障,这种故障一般难以事前检测到。渐变故障多属耗损性故障,是指产品规定性能随工作时间增加,而逐渐劣化引起的故障,这种故障都有一个发生发展的变化过程。如机械产品及其零部件、由于磨损、疲劳、腐蚀、退化造成的故障,电子产品产生的性能漂移等。这种故障是可以通过事前的检测或监测预测到的故障。按故障造成后果的严重度一般区分为轻度故障、临界故障、致命性故障和灾难性故障。这部分内容将在故障模式影响分析中详细讨论。

1.3.3 可靠性定量表述的特点

在可靠性定义中,对“能力”的表述仅定性的分析是不够的,需要对可靠性做出定量的表征。产品的可靠性与产品的性能指标不同,它在表征上有其自己的特点。

(1) 随机性。产品在规定时间发不发生故障是不能确定的,即产品在规定时间是否发生故障具有随机性。描述在一定条件下可能发生也可能不发生的事件,称为随机事件。产品在规定时间内发生故障就是一个随机事件,需用概率论与数理统计的理论与方法来表征产品的可靠性。可靠性的概率度量称为可靠度,即产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的概率。因此可靠性定量表达具有统计意义。

(2) 时间性。既然用概率度量产品可靠性,产品发生故障的观测值或测定值,必须在一个时间段内将故障发生的观测值进行统计处理。完成规定功能的概率,可以理解为产品在规定条件和规定时间内,正常工作的产品占产品总数的百分比。这种统计工作,需要一定的样本量和相当大的工作时间才能做出可信的统计结果。这和产品的其他性能指标测定方法是不同的,火炮弹丸初速、发动机功率、液压系统的流量和压力等技术参数,属于确定性指标,在装备试验中,即可获得。而装备的可靠性指标,必须通过在寿命周期内发生故障的观测值来获得。

(3) 可靠性定量表达的多样性。产品的可靠性参数很难只用一个量表征,在不同的对象和不同的情况下可以用不同的参数来表示产品的可靠性。如产品从开始使用到某一时刻 t 这段时间保持规定功能的能力,可用可靠度来度量,该指标越大,就表示产品在 t 段时间内完成规定功能的能力越大,即产品越可靠。但是并非对任何场合使用这一参数都是方便的。对不可修产品,首次故障前的平均时间就是其可靠性参数;对于可修产品,平均故障间隔时间是其可靠性度量的参数;对基础零部件和元器件,用规定百分比的寿命这一参数更为直观。所以,在工程应用中,常给出多个表示产品可靠性的参数以供选择。

1.4 可靠性与相关学科的关系

1.4.1 可靠性与维修性、保障性

产品可靠性与产品维修性、保障性密不可分,都是质量特性的组成内容。可靠性就其核心内容是研究故障,前面已有论述。维修性是指产品维修的难易程度,是使装备保持或恢复到规定状态的能力。装备出了故障容易维修,包括测试性、可达性、可修性、易修性及对维修资源需求的大小。保障性是指装备的设计特性和计划的保障资源能满足平时与战时使用要

求的能力。既含有装备可靠性及保障资源要求产品所具有的设计特性,又有保障资源,保障资源应与保障特性协调一致。如车辆新型传动系统为提高其工作可靠性,要求粘温特性更高的润滑油,而现有保障资源中尚没有这种油品的供应,给保障带来困难。所以被保障对象必须是可保障的,与保障资源不协调一致,将会影响装备的战备完好性及任务成功性。在装备研制周期的各阶段,可靠性维修性保障性都作为整体一起论证,提出定性、定量要求,一起进行试验验证。但作为装备的固有设计属性,又有各自的工作项目及研究对象。

1.4.2 可靠性与性能特性

装备的性能指标,在作战使用中有的逐步退化而降低,如火炮的弹丸初速表征射击的威力,但随着火炮身管内膛的磨损,初速降低,威力下降;发动机是装甲车辆推进系统的核心,在使用中发动机会因为汽缸的磨损及喷油系统的退化而使其功率下降,机油消耗量增加;液压系统的液压泵和液压马达、作用油缸长期使用中,由于密封件的老化,运动体的磨损,导致效率的下降。上述性能指标的劣化都规定有一个极限状态,在达极限状态之前,就必须进行预防性维修或更换其中超过规定技术标准的零部件。所以,当以性能指标的退化作为极限状态判断准则时,装备性能与规定的使用寿命是紧密联系在一起的。

1.4.3 可靠性与质量

传统的质量观念中,产品质量与可靠性,常被作为同义词对待。但两者之间是有区别的。质量一般是指产品在出厂时能否满足技术规范中的各项性能指标要求,如装甲车辆生产过程的质量检验及出厂时整车的质量检验,是 $t=0$ 时刻的工艺指标及性能指标。产品可靠性是指在满足出厂指标要求的条件下,能持续多长时间,是当 $t>0$ 时产品在实际使用环境下其性能指标发挥、保持和恢复的能力。

现代质量观念,产品的质量特性既包含了功能特性,又包含了可靠性、维修性、保障性、安全性这些产品的专门特性,还有经济性、时间性等。经济性是指产品的寿命周期费用,时间性是指在规定的时间内承制方向使用方提供满足功能特性及专门特性的产品及其数量。所以,产品可靠性维修性保障性作为产品的固有特性,均存在于产品现代质量特性的范围之内。

第2章 可靠性相关概念的数学描述

2.1 可靠度函数

产品的可靠性可用其可靠度 (Reliability) 来衡量。可靠度是用概率表示产品的可靠性程度的。可靠度可定义为“产品在规定的条件下和规定的时间内, 完成规定功能的概率”, 通常以“ R ”表示。考虑到它是时间的函数, 又可表示为 $R = R(t)$, 称为可靠度函数。就概率分布而言, 它又叫作可靠度分布函数, 且是累积分布函数。它表示在规定的使用条件下和规定的时间内, 无故障地发挥规定功能而工作的产品占全部工作产品 (累积起来) 的百分率。因此, 可靠度 R 或 $R(t)$ 的取值范围是:

$$0 \leq R(t) \leq 1$$

若“产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能”的这一事件 (E) 的概率以 $P(E)$ 表示, 则可靠度作为描述产品正常工作时间 (寿命) 这一随机变量 (T) 的概率分布可写成:

$$R(t) = P(E) = P(T \geq t) \quad 0 \leq t \leq \infty$$

假定 N_0 个同一类型的产品, 在 $t=0$ 时投入运行, 随着时间的推移, 有些产品将发生故障。记 $N_s(t)$ 为 t 时完好的产品个数。那么, 至时刻 t 故障产品的个数 $N_f(t)$ 为:

$$N_f(t) = N_0 - N_s(t)$$

根据物理意义, 产品的可靠度由下式给出:

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_0} = \frac{N_0 - N_f(t)}{N_0} = 1 - \frac{N_f(t)}{N_0} \quad (2-1)$$

由定义可知, 可靠度与不可靠度都是对一定时间而言, 若所指时间不同, 同一产品的可靠度值也就不同。

2.2 故障分布函数

与可靠度相对应的有不可靠度, 表示“产品在规定的条件下和规定的时间内不能完成规定功能的概率”, 因此又称为故障概率, 记为 F 。故障概率 F 也是时间 t 的函数, 故又称为故障概率函数或不可靠度函数, 并记为 $F(t)$ 。它也是累积分布函数, 故又称为累积故障概率。显然, 它与可靠度呈互补关系, 即:

$$R(t) + F(t) = 1$$