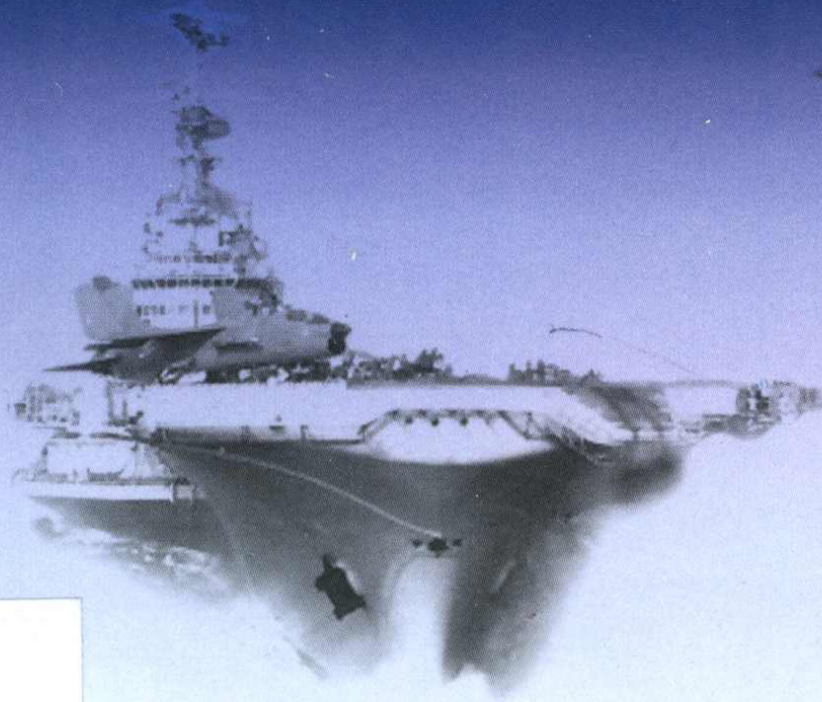


可靠性 维修性·保障性 概论

主编 秦英孝

副主编 周明德 严勇 张耀文 江劲勇



国防工业出版社

可靠性·维修性·保障性概论

主 编

秦英孝

副主编

周明德 严 勇 张耀文 江劲勇

编写组成员

(按姓氏笔划排序)

江兆平 刘少坤 朱明宽 李仲杰
陈宏伟 陈明能 周光明 童亚湘

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

可靠性·维修性·保障性概论 / 秦英孝主编. —北京:
国防工业出版社, 2002. 10

ISBN 7-118-02876-2

I. 可... II. 秦... III. ①武器装备—可靠性—研究
②武器装备—可维修性—研究③武器装备—后勤保障—研究
IV. TJ0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 039706 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 14½ 382 千字

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

可靠性、维修性、保障性是军用装备效能的决定因素,也是装备质量的重要内涵。历次战争的教训、市场的竞争以及产品不可靠造成的巨大损失,使人们认识到可靠性、维修性、保障性关系到一个国家的经济及安全,直接影响战斗力甚至战争的胜负。为此,军用装备不但要求性能优越,而且要寿命长、故障少、易维修、易保障,从而使其具有较高的效能及较低的生命周期费用,以达到最佳的效费比。

目前,世界各发达国家均对此予以高度重视,通过可靠性、维修性技术的开发和应用,已在民用产品与武器装备的研制中取得了巨大的效益。与此相比,我国的可靠性、维修性与保障性工作起步较晚,无论从发展需求或与国外发展水平相比,均有明显差距。为尽快扭转这一落后局面,必须首先加强对可靠性、维修性与综合保障性工程的管理,大力发展其理论与应用技术。同时必须重视专业人才培养,提高设计与管理人员的素质,以便在装备论证技术要求时,论证和明确可靠性、维修性指标;在设计和研制过程中,进行一系列有关的设计和分析,并加强管理;在制定产品标准时,将可靠性、维修性与保障性指标列入并以此作为考核和鉴定产品性能和质量的重要依据;从国外引进产品制造技术时,必须注意同时引进产品的可靠性、维修性指标、设计和试验方法等技术。为此,尽快编写一部可靠性、维修性、保障性技术的通用教材以系统提高驻厂军事代表、部队以及机关管理干部人员的可靠性、维修性、保障性专业理论,并将其应用于装备的论证、设计、制造、使用中是当前一项刻不容缓的紧迫任务。

鉴于上述目的并考虑读者对象,本书分8章,主要介绍了可靠

IV

性基础、可靠性设计与分析、可靠性试验、维修性工程、综合保障工程以及可靠性、维修性、保障性的管理与监督。全书取材丰富、内容新颖,侧重于概念叙述和工程应用,略去了繁杂的数学推导,力求简明扼要,并对每一数学模型都给以实例说明,便于自学。

本书由秦英孝主编,周明德、严勇、张耀文、江劲勇任副主编,刘少坤、朱明宽、江兆平、李仲杰、陈宏伟、陈明能、周光明、童亚湘等同志编写了有关章节初稿,郑兴国教授仔细审查了全部内容并提出了许多宝贵意见,最后由秦英孝修改定稿。在编写中还参考了许多专家、教授的著作和论文,在此,表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,时间紧迫,书中定有不少缺点和错误,恳切希望读者不吝批评指正。

编 者

2002年3月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 可靠性、维修性与保障性的重要性	1
第二节 可靠性、维修性与综合保障工程的形成 和发展.....	9
第三节 可靠性、维修性、保障性与质量管理的 关系与区别	20
第二章 装备可靠性基础	24
第一节 可靠性基本概念	24
第二节 可靠性特征量	32
第三节 装备可靠性(维修性)参数选择和指标确定	54
第四节 人一机系统及软件可靠性问题	70
第五节 装备储存可靠性问题	79
第六节 装备的定寿与延寿	84
第三章 装备可靠性设计与分析	97
第一节 可靠性设计基本概念	97
第二节 系统可靠性模型的建立及可靠度计算	98
第三节 系统可靠性预计.....	109
第四节 系统可靠性分配.....	124
第五节 系统可靠性分析.....	134
第六节 电子产品的可靠性设计.....	153
第四章 可靠性试验	175
第一节 可靠性试验的目的和内容.....	175
第二节 环境应力筛选.....	184
第三节 可靠性增长试验.....	198

第四节	可靠性鉴定试验和可靠性验收试验·····	207
第五节	加速寿命试验·····	223
第五章	维修性工程 ·····	231
第一节	维修性工程基本概念·····	231
第二节	维修性要求·····	235
第三节	维修性模型·····	247
第四节	维修性分配·····	255
第五节	维修性预计·····	259
第六节	维修性分析·····	263
第七节	维修性试验与评定·····	268
第八节	装备战场抢修与抢修性·····	278
第六章	测试与测试性技术 ·····	287
第一节	测试、测试性及其要求·····	287
第二节	测试性分配·····	294
第三节	测试性预计·····	296
第四节	测试点与诊断程序的确定·····	300
第七章	装备综合保障工程 ·····	303
第一节	综合保障工程的基本概念·····	303
第二节	保障系统和保障方案·····	313
第三节	保障性要求·····	317
第四节	装备保障性分析·····	328
第五节	规划使用保障和规划维修·····	337
第六节	规划保障资源·····	351
第七节	保障性试验与评价·····	368
第八节	当前推动我国综合保障工作开展应重视 的问题·····	377
第八章	可靠性、维修性与保障性管理 ·····	382
第一节	可靠性、维修性与保障性管理概述·····	382
第二节	可靠性、维修性与保障性宏观管理·····	391
第三节	可靠性、维修性与综合保障管理组织·····	394

第四节	寿命周期过程中的可靠性、维修性与 保障性管理·····	399
第五节	可靠性、维修性保证大纲的制定及评审·····	406
第六节	综合保障计划的制定及实施·····	417
第七节	可靠性、维修性与保障性信息管理·····	433
第八节	可靠性、维修性与综合保障工程标准·····	445
参考文献	·····	453

第一章 绪 论

本章将重点介绍可靠性、维修性与保障性的重要性、形成发展过程以及它与传统质量管理的联系和区别。

第一节 可靠性、维修性与保障性的重要性

可靠性、维修性与保障性是军用装备重要的技术指标,是一个国家技术队伍素质、管理以及工业基础水平的重要标志,是使装备保持、恢复乃至提高战斗力的重要因素,长期以来,在国内外受到极大重视,并经济、有效地保障了军队作战、训练和战备工作,在国防建设中发挥了重要作用。

一、可靠性、维修性与保障性问题的提出

1. 战争的产物

第二次世界大战前,在产品的设计、试制、制造、储存、运输以及使用维护中着重研究性能指标,尽管没有明确地引用“可靠性”一词,但是也考虑到产品的耐久性、寿命、稳定性、维修性以及安全性等。这实际上已运用了可靠性的概念。

把可靠性问题作为专门问题来研究,是从第二次世界大战中开始的。当时,交战双方调集了大量的兵力和兵器参战,出现了雷碉、飞航式导弹、弹道式导弹等较复杂的新式武器,而这些武器的核心——电子设备——屡出故障,使装备丧失了应有的战斗力。如德军向英国发射的 V1 飞弹,多数在中途爆炸,有的甚至在发射场上空爆炸,引起德国军方和舆论界的重视,便开始应用概率论建

立数学模型来研究可靠性,后因战争失败而中断。美国运往远东地区的装备故障十分严重,空军机上电子设备有 60% 以上发生故障,海军舰上电子设备有 70% 以上发生故障。为保障装备的正常工作,美军组成了庞大的维修队伍、后勤保障队伍。这种沉重的教训引起了美国政府、军界、企业界和学术界的高度重视,于 1943 年联合成立了可靠性研究小组,这就是可靠性研究的开始。当时的研究对象是元器件(主要是电子管),虽然取得了不少成果,但整机提高不大,直到 20 世纪 40 年代末 50 年代初,设备的可靠性仍很低。如 1949 年美军无线电通信设备约有 14% 的时间,水声设备约有 48% 的时间,雷达设备约有 84% 的时间处于故障状态。1950 年美国海军电子设备约有 2/3 不能正常工作,美军 2600 种 16500 台设备在一年内发生了 100 多万次故障。据统计,电子设备每年的维修费是设备购置费的 60%~500%。为此,20 世纪 50 年代美国成立了不少研究小组,研究生产故障少、维修费用低的产品。直到 1959 年,美军的维修费用仍占国防预算的 25%。1957 年美国国防部电子元器件可靠性顾问团 AGREE 提出了 AGREE 报告,基本上确定了可靠性工程的研究方向,它的许多思想和结论至今仍具有指导作用。

2. 可靠性是军用产品的重要质量指标

以空军机载电子设备为例说明现代装备具有以下特点:

(1)在质的方面高级化、自动化、人工智能水平提高很快,作战的效率和威力很大;

(2)在量的方面大型化,电子设备元器件多达几十万个;

(3)在结构方面复杂化;

(4)在工作环境方面范围扩大化,条件严酷化;

(5)在研制方面高速化;

(6)在应用技术、材料和器材方面尖端化;

(7)在维修费用方面需要增加,但要求最优化;

(8)在维修技术方面要求高,而培训和后勤保障困难大。

如果产品不可靠,将会导致严重的后果:

(1)导致军事任务不能完成。在平时,可使训练任务不能完成,甚至带来巨大损失。1963年美军海军航空兵飞机的事故率为1.46次/10⁴飞行小时,共发生重大事故514次,毁机275架,死亡飞行员222人,损失2.8亿美元。事故的原因43%是器材不可靠性造成的。在战时,会造成侦察不准,指挥失控,情报传不进,送不出,瞄不准,打不上,开不动,追不着,跑不了。贻误战机,不能有效地打击敌人,保存自己,导致作战失利,造成不应有的伤亡和损失,甚至危及部队的生存,危害国家和人民安全。

(2)导致维修工作量繁重。使维修队伍庞大,要求维修技术高,增加训练负担,使军队臃肿。如第二次世界大战中,美军平均每250个电子管的设备就要有一个技术人员来维修。

(3)导致维修费用巨大。造成备件生产、运输、储存和供应负担很重。据美军统计,20世纪50年代对电子设备每年的维修费用是设备购置费的60%~500%,1959年的维修费用占国防总预算的25%。

不难理解,产品的可靠性是军队战斗力的重要影响因素,它是一个国家工业现代化的重要标志。要想提高军队战斗力就要用现代化装备武装军队,而现代化的装备,离开了高可靠性是毫无意义的,甚至是潜在的危机。国外有人认为:任何武器系统必须能自始至终可靠地工作,即使性能降低些,也仍能可靠地工作,而不需要性能指标先进、可靠性不高的武器系统。

3. 可靠性是企业的命脉

企业的兴旺,决定于产品的竞争力,企业丧失竞争力就难以生存。而决定产品竞争力的重要因素是产品的质量。现在,军用产品都要求达到一定的可靠性指标,否则就不能接收,成为废品,从研究到生产的一切费用都报销了,而且以后可能失去用户。20世纪60年代中期,美国每年因产品质量不可靠要损失约400亿美元,苏联1958年损失(1500~2000)亿卢布,澳大利亚1976年外贸损失(8~10)亿美元,造成15个中小企业濒于破产。而日本人把可靠性当作“国家兴旺”的大事,其产品可靠性相当高,博得世界用

户的称赞,赢得了市场,成为经济强国。

另外,在长期的工作实践中,人们发现,从武器装备战备完好性及寿命周期费用的观点出发,仅提高可靠性不是一种最有效的方法,必须综合考虑可靠性及维修性才能获得最佳的结果。在20世纪50年代中期,随着军用电子设备复杂性的提高,武器装备的维修工作量大、费用高,美国国防部每天要花费2500万美元用于各类武器装备的维修,每年约90亿美元,占国防预算的25%。因此,维修性问题引起了美国军方的重视。在20世纪50年代后期,美罗姆航空发展中心及航空医学研究所,专门开展了维修性设计研究,提出了设置电子设备维修检查窗口、测试点、显示及控制器等措施,从设计上改进电子设备的维修性,并出版了有关的报告和手册,为以后的维修性标准制定打下了基础。

随着现代武器装备复杂性的增长,在20世纪80年代中期以前服役的大型复杂武器装备都面临着使用保障费用高和战备完好性差的两大难题,引起了世界各国军方的重视。根据美、英国防部统计数据表明,美国1987年武器装备的使用保障费用占国防预算的52%,英国1985年皇家空军的维修费用占军费预算的40%,复杂武器装备的使用保障费用约占其寿命周期费用的60%,有的高达70%~80%。直至80年代初,美、英等国的大部分现役战斗机的战备完好性都较低,其能执行任务率一般为60%左右,严重影响部队的作战能力,例如,F-15A每出动飞行一架次平均需要15h维修或等待维修。为了解决这两大难题,除了改善可靠性及维修性外,近年来,在武器装备的发展中,保障性引起了各国军方的重视。

二、可靠性、维修性及保障性的作用

在现代装备的设计中,可靠性、维修性与保障性已成为与性能同等重要的设计要求,并对装备的作战能力、生存力、部署机动性、维修人力和使用保障费用产生重要的影响,它可以:

(1)提高作战能力——提高装备各部件及装备的可靠性,减少装备发生故障的次数;提高装备的战备完好率或增加出动率,能保

证装备连续出动的能力,同时还将提高装备持续作战和完成任务的能力,从而提高装备的作战能力;改进维修性,减少装备在地面维护和修理的停机时间以及装备再次出动的时间,能提高装备的出动率,同时还可减少装备战场修理时间,提高装备再次投入作战的能力。例如,F-15A 战斗机由于可靠性差、维修困难,而且缺少备件,其战备完好率长期保持在 50%左右,经过改型的 F-15E,由于显著地提高了可靠性、维修性及测试性,在海湾战争中的战备完好率高达 95.5%,其连续作战能力几乎提高近一倍。因此,故障多、维修困难的装备,其性能再好也是没有战斗力的。F-111 是美国高性能的战斗轰炸机,1986 年美国空袭利比亚时,24 架 F-111 从英国基地起飞,其中 6 架飞机因电连接器故障等原因而空中返航,到达目标后又有 5 架因火控系统故障而未能投弹轰炸,近一半飞机未能完成规定任务。总之,高可靠性、维修性是高性能武器装备保持高作战能力的基础。

(2)增强生存力——除了采用隐身技术和电子对抗系统外,采用先进的可靠性、维修性设计技术和减少对那些在战争中易受摧毁的地面固定设施的依赖是增强装备生存力的重要途径。采用余度及容错、可达性、模块化及互换性等可靠性、维修性设计技术,采用对装备安全起关键作用的系统或设备,在发生故障或在战斗中损坏后,仍然能安全执行任务,或者安全返回基地,通过战场修理后再次投入战斗,增强了装备的生存力;通过开展测试性及模块化设计以及采用超高速集成电路和先进的机内测试,将故障准确隔离到车间可更换单元,使现役装备(如 F-16 战斗机)所采用的三级维修变成两级维修,不需依赖现在 F-15 及 F-16 使用的占地 2500m² 的航空电子设备中继级维修车间,一旦在战争中这些地面固定的维修设施被摧毁后,飞机仍然能生存和继续作战。

(3)提高部署机动性——提高可靠性、改进维修和测试性,采用先进的 BIT,进而取消或减少对地面中继级维修车间的依赖,也有助于减少装备部署的运输要求,提高了装备部署的机动性。例如,美国部署一个 F-15A 战斗机中队(24 架飞机)大约需要(15~

18)架 C-141B 重型运输机来运载各种保障设备、备件、维修人员、资料及航空电子设备中继级维修车间,仅航空电子设备中继级维修车间就需要(5~6)架 C-141B 运载。而 F-22 战斗机的研制,由于其可靠性比 F-15 高一倍多,维修工时少一半多,而且取消了航空电子设备中继级维修车间,部署一个 F-22 战斗机中队(24 架)仅需要(6~8)架 C-141B,比 F-15A 少一半多,大大提高了装备部署的机动性。

(4)减少维修人力——装备部件及设备可靠性的提高,能减少故障发生次数,因而减少维修次数;维修性的改进将提高维修工作效率,减少维修时间。因此,可靠性、维修性的改进将减少维修人力。例如,美国 F-4E 战斗机是 20 世纪 60 年代服役的未开展可靠性设计的飞机,其可靠性、维修性水平较差,平均故障间隔飞行小时 MFHBF=1.1h,每飞行小时维修工时 MMH/FH=33 工时/飞行小时,装备一个 F-4E 中队需要 588 名维修人员;F-15A 中队所需的维修人员为 554 人;90 年代末服役的战斗机 F-22,其可靠性比 F-15 提高一倍多,维修工时减少一半多,并且开展了测试性和保障性设计,采用两级维修,不需要中继级维修,装备一个 F-22 中队所需的维修人员只有 277 人,仅为 F-15A 的一半。

(5)降低使用保障费用——可靠性、维修性的改进将减少人力、备件供应以及保障设备和器材,降低维修人员的技术等级要求和培训要求,进而降低装备的使用保障费用。例如,美国海军战斗机 F/A-18,由于在研制中强调可靠性、维修性设计,加强可靠性、维修性管理,并进行严格的试验及验证,其可靠性水平比 F-4J 战斗机提高近 3 倍,维修工时减少一半多。美国海军估算,每架 F/A-18 飞机每年比 F-4J 节省使用保障费用 30 万美元,因而在整个飞机使用寿命期内(20 年),600 架 F/A-18 飞机的使用保障费(包括燃料费、维修人力费、修理器材费、备件费等)将比 F-4J 节省 36 亿美元。

应当指出,上述各种提高装备可靠性、维修性水平所产生的影响的综合效应就是提高部队战斗力,因为在海湾战争之类的现代

化高技术战争中,增强生存力意味着装备在战损及地面设施被摧毁后仍能保持战斗力;减少维修人力意味着增加装备出动能力,提高机动性形成战斗力;减少使用保障费用意味着可采购更多的装备,从而增加战斗力。

三、可靠性、维修性及保障性在现代装备研制中的重要地位

鉴于可靠性、维修性与保障性对装备作战能力、生存力、维修人力和使用、保障费用的重要作用和影响,因此在现代化装备的研制中,可靠性、维修性与保障性占有重要的地位,可靠性、维修性与保障性工程是装备设计工程的重要组成部分,它作为专门工程的核心,与传统工程一起,构成了设计工程的两大支柱;可靠性、维修性与保障性管理又是装备研制系统工程管理的有机组成部分。此外,在形成产品的质量特性与改善装备费用-效能方面也具有举足轻重的影响。

1. 可靠性、维修性及保障性是系统质量的重要特性

由于历史的原因,在相当长的一段时间内,我们只注重装备的战术性能,而忽视可靠性、维修性,系统地提出和研究保障性问题则更是近年来的事。树立当代质量观念就必须把质量视为与性能同等重要的特性,在设计、研制装备时,必须提出这方面的定性、定量要求,并把这些要求和性能要求一样纳入装备的战术技术指标之中。

2. 可靠性、维修性和保障性是制约装备效费比的重要因素

当代质量观念不仅注重产品性能等,而且注重质量的经济性内涵。其核心是提高装备效能,降低寿命周期费用,即提高费效比。

装备的系统效能是系统在规定的条件下满足给定定量特性和服务要求的能力。效能是性能等特性的函数。提高装备的可靠性、维修性与保障性,就可能提高装备的效能。装备的故障少了,一旦出现故障又能尽快修复,又有较强的适应能力和好的保障条件,其固有能力就可以得到充分的发挥。

另一方面,提高装备的可靠性、维修性与保障性可以降低寿命周期费用。统计表明,在产品从论证、研制直到使用、报废的全过程中,由于质量缺陷带来的经济损失和消耗是以数量级的变化而增大的。缺乏可靠性、维修性与保障性设计的产品,尽管其研制初期可能投入较少的费用,但是产品研制后期费用以至整个使用阶段的维修保障费用将大大增加。大量事实证明,由于可靠性及维修性差,造成花费大量资金研制生产出来的装备交付部队后,其可用性低,维修保障费用高,甚至长期形不成战斗力,这方面的教训是很深刻的。

3. 产品可靠性、维修性和保障性是先天设计特性,必须在研制时注入

可靠性、维修性与保障性是产品的先天属性,是设计出来的,生产出来的,管理出来的。其中设计最为重要,我们只有在设计阶段,就把可靠性、维修性与保障性设计到产品中去,才谈得上生产过程和使用过程的保证。如果在设计阶段不考虑可靠性、维修性与保障性,到生产阶段之后发现问题再考虑,势必花费更多的时间和代价,有的问题则根本无法解决,甚至带来“先天不足,后患无穷”的局面。因此,现代质量管理必须从设计开始。装备的可靠性、维修性与保障性工作必须遵循预防为主、早期投入的方针,将预防、发现和纠正可靠性、维修性设计及元器件、材料和工艺等方面的缺陷作为工作重点,采用成熟的设计和行之有效的可靠性、维修性与保障性试验技术,以保证和提高装备的固有可靠性、维修性与保障性水平。另外,影响或构成保障性的还有保障资源,也必须在研制时考虑、规划和筹措,有些设备还必须及早研制,资料、培训等也需及早准备。

4. 可靠性、维修性和保障性管理是系统工程管理的组成部分

现代质量管理强调设计阶段赋予产品质量特性的重要性。同时,要求在寿命周期的各个阶段对产品实施质量保证,即成为全过程的质量管理。一个装备即使设计得较为完善,但是如果在研制、试验、生产过程中不采取相应措施,再好的设计也难以实施。质量

得不到保证,装备的固有特性也不能在使用中发挥。在装备寿命周期内实施系统工程的方法,是解决这一难题的良策。

我国《武器装备可靠性与维修性管理规定》明确指出:武器装备可靠性、维修性与保障性管理是系统工程管理的重要组成部分。可靠性、维修性与保障性工作必须统一纳入武器装备研制、生产、试验、使用等计划,与其他各项工作密切地进行。应当对装备性能、可靠性、维修性、安全性、保障性等质量特性进行系统综合和同步设计。从武器装备论证开始,就应当进行质量、进度、费用之间的综合权衡,以取得武器装备最佳效能和寿命周期费用。从系统综合管理的要求出发,这一规定还分别提出了武器装备在论证、方案、工程研制、生产、使用阶段可靠性、维修性工作的重要内容和要求。这就使可靠性、维修性等工作如何按照系统工程要求纳入全过程质量管理有了基本的依据,认真贯彻这一规定,对提高可靠性、维修性保障性管理水平,促进装备质量的全面提高具有深远的意义。

第二节 可靠性、维修性与综合保障工程的形成和发展

一、可靠性工程的形成与发展

尽管作为产品基本属性的可靠性随着产品的存在而存在,但可靠性工程作为一门独立的工程学科却只有几十年的历史。如前所述,只有现代的科学技术发展 to 一定水平,产品的可靠性才突出为一个不仅影响产品性能,而且影响一个国家经济和安全的重大问题,成为众所瞩目和致力研究的对象。在这股社会需求的大力推动下,可靠性工程从概率统计、系统工程、质量控制、生产管理等学科中脱胎而出,成为一门新兴的工程学科。

可靠性工程的历史大致可分为以下几个阶段。

1. 可靠性工程的准备和萌芽阶段(20世纪30至40年代)

最早的可靠性概念来源于航空。1939年,美国航空委员会出