

装备保障性工程

宋太亮 编著

国防工业出版社



装备保障性工程

宋太亮 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

装备保障性工程/宋太亮编著. —北京:国防工业出版社, 2002. 7

ISBN 7-118-02889-4

I. 装... II. 宋... III. 武器装备—后勤保障
IV. E14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 047896 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)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 12 $\frac{3}{4}$ 332 千字
2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

现代局部战争对装备保障的依赖性越来越大。装备复杂程度越高保障越困难,保障性已成为装备形成作战能力和降低寿命周期费用的关键因素。装备保障性是从用户和使用角度出发提出的与保障有关的质量特性的综合度量,应成为装备性能的重要组成部分。实现保障性目标,已成为装备全系统全寿命管理的重要工作内容。

本书提出和建立装备保障性工程学科,是一种新的尝试,也是作者多年从事该学科研究的成果。作者试图通过这一新型学科,探索一种实现装备系统保障性目标的新的思路、途径和方法,启发人们不断探索从不同的角度、不同的层次解决装备尽快形成战斗力的问题。

保障性工程是为实现装备系统的保障性目标而进行的一整套论证、设计、生产、试验与评价、部署以及使用与保障等工作。保障性工程的目的是提高装备的战备完好性、任务成功性和持续作战能力,降低寿命周期费用和特殊保障需求。装备保障性工程是可靠性工程、维修性工程和综合保障等各专业工程学科向综合性发展而产生的新兴学科,是装备发展的必然趋势和需求,也是近年来装备保障性研究和应用的必然结果。

本书共分 10 章。

第 1 章绪论,阐述了装备保障性工程产生的背景,保障性工程的定义、内涵、目标及主要工作内容。

第 2 章阐述了系统工程的基本概念、原理和方法,以及保障性工程与装备系统工程的相互关系。

第 3、4、5、6 章分别论述了保障性要求的内容和确定方法,保

障性分析,装备的保障性设计和保障系统设计。

第7章阐述了保障性试验与评价的类型、内容和管理。

第8章阐述了装备由研制向生产转移过程中的保障性问题,介绍了装备系统部署保障的要求,阐述了使用中的保障性工作。

第9章阐述了装备保障性信息的作用、范围、管理和应用,介绍了装备保障性信息系统的发展及国内外相关标准。

第10章阐述了保障性管理的规划、评审、组织机构等方面的内容,介绍了保障性风险的基本概念和非研制产品的保障性管理。

本书是为推动装备建设中同步开展保障性工程,实现装备与保障系统同步、协调建设而编写的。本书所阐述的内容可供装备管理机关和论证、研制生产、部署使用部门的管理与工程技术人员阅读,也可作为高等院校研究生、本科生的教学用书。

在本书编写过程中,得到了孙书鸿、俞沼、张康宝、曾天翔、杨秉喜、鲍承昌、王金全、孙惠琴、任欣欣的热情鼓励、具体指导和认真审查,他们提供了大量资料,提出了具体修改意见,丰富了本书的有关内容,在此表示衷心的感谢和敬意。另外,本书还参考了国内外有关文献资料,在此一并表示感谢。

装备保障性工程是一门新兴的学科,有许多问题值得进一步研究,加之作者知识和经验的局限性,本书的缺点和错误在所难免,诚望读者提出宝贵意见,以利修正。同时,也期望有更多的同志投入这一学科的研究。

作者

2002.5.

目 录

第1章 绪论	1
1.1 保障性工程概念的提出	1
1.1.1 可靠性工程的产生	2
1.1.2 维修性工程的产生	2
1.1.3 保障性的提出及综合后勤保障的产生	3
1.1.4 保障性工程的产生	5
1.2 装备系统的保障性	7
1.2.1 装备与装备系统	7
1.2.2 保障性的定义	8
1.2.3 保障性的特点	9
1.2.4 保障性与可靠性维修性的关系	11
1.3 保障性工程的定义	12
1.4 保障性工程活动	14
1.5 保障性工程的目标、任务和研究内容	17
1.5.1 保障性工程的主要工作	17
1.5.2 保障性工程的目标和任务	18
1.5.3 保障性工程的主要研究内容和方向	21
1.5.4 建立保障性工程学科的现实意义	22
第2章 系统工程原理与应用	24
2.1 系统工程及其在装备全寿命管理中的应用	24
2.1.1 系统与系统工程的概念	24
2.1.2 装备全系统全寿命管理	27
2.1.3 系统工程管理	29
2.1.4 系统工程的任务与目标	31

2.1.5	全寿命管理中的系统工程过程	32
2.2	系统工程过程	34
2.2.1	系统工程过程输入及主要活动	34
2.2.2	要求分析	35
2.2.3	功能分析与功能分配	37
2.2.4	设计综合	38
2.2.5	系统工程过程输出	41
2.3	系统分析和控制	41
2.3.1	研制项目工作分解结构	42
2.3.2	技术状态管理	47
2.3.3	权衡研究	52
2.4	保障性工程过程	56
2.4.1	保障性要求的确定	56
2.4.2	保障性建模与分配	57
2.4.3	保障性分析、设计与权衡	58
2.4.4	保障性试验与评价	61
2.4.5	保障性评审	63
2.5	系统效能与寿命周期费用	64
2.5.1	装备系统效能分析	64
2.5.2	寿命周期费用分析	69
2.5.3	费用—效能分析	73
第3章	确定保障性要求	78
3.1	引言	78
3.2	保障性要求	79
3.2.1	保障性要求的特点与分类	79
3.2.2	保障性要求的有关概念	81
3.2.3	保障性定性要求	83
3.2.4	保障性定量要求	84
3.2.5	美空军保障性参数实例及其特点	87
3.2.6	任务成功性要求	88

3.3	确定保障性要求	89
3.3.1	确定保障性要求的过程	89
3.3.2	确定保障性要求的步骤	91
3.3.3	保障性要求和验证示例	94
3.3.4	确定保障性要求过程中的有关问题	95
3.4	质量功能展开(QFD)在确定保障性要求中的应用	101
3.4.1	QFD的基本概念	101
3.4.2	QFD在确定保障性要求中的应用	103
第4章	保障性分析与设计	105
4.1	保障性分析	105
4.1.1	保障性分析的目标与要求	105
4.1.2	保障性分析规划	107
4.1.3	保障性分析的任务与程序	111
4.1.4	保障性分析的内容	112
4.2	保障性设计	115
4.2.1	保障性设计在保障性工程中的地位作用	115
4.2.2	保障性设计应遵循的一般原则	116
4.2.3	保障性设计的内容	120
4.3	故障模式、影响及危害性分析	120
4.3.1	故障模式及影响分析	121
4.3.2	危害性分析	122
4.3.3	维修性信息分析	124
4.3.4	损坏模式及影响分析	124
4.3.5	FMECA的运用	125
4.4	故障树分析	127
4.4.1	故障树的建造	127
4.4.2	故障树表述	128
4.4.3	故障树定性与定量分析	128
4.4.4	故障树分析的特点及运用	129

4.5	以可靠性为中心的维修分析	130
4.5.1	RCMA 的基本原理	130
4.5.2	系统和设备的以可靠性为中心的维修分析	134
4.5.3	结构的以可靠性为中心的维修分析	137
4.5.4	RCMA 的运用	141
4.6	使用与维修工作分析	146
4.6.1	使用与维修工作分析的目的	146
4.6.2	使用与维修工作要求的确定	146
4.6.3	使用与维修工作分析的内容	147
4.7	修理级别分析	148
4.7.1	修理级别分析的目的和任务	148
4.7.2	修理级别分析与其它工作的接口	149
4.7.3	修理级别分析的过程	150
第 5 章	装备的保障性设计	152
5.1	可靠性设计	152
5.1.1	可靠性设计准则与设计方法	153
5.1.2	可靠性模型的建立	155
5.1.3	可靠性分配与预计	161
5.1.4	机械产品的可靠性设计	167
5.2	维修性设计	169
5.2.1	维修性设计准则	169
5.2.2	维修性模型	172
5.2.3	维修性分配	175
5.2.4	维修性预计	179
5.3	测试性设计	183
5.3.1	测试性设计的目标和内容	183
5.3.2	诊断方案与测试性要求	184
5.3.3	测试性设计方法	186
5.3.4	测试性评价	192
5.3.5	测试性初步设计与分析	192

5.3.6	测试性详细设计与分析	193
5.4	其它保障特性的设计	195
5.4.1	装备的生存性设计	195
5.4.2	抢修性设计	196
5.4.3	运输性设计	198
5.4.4	自保障特性设计	199
第6章	保障系统设计	201
6.1	规划保障	201
6.1.1	装备保障的基本概念	202
6.1.2	规划保障的基本概念	203
6.1.3	规划保障的程序	207
6.1.4	规划保障数据输入和研制各阶段的工作	211
6.1.5	规划保障时应考虑的几个问题	212
6.1.6	制定和优化保障方案的主要保障性分析工作 项目	213
6.2	规划保障资源	230
6.2.1	保障资源需求形成的一般过程	231
6.2.2	规划人力与人员	234
6.2.3	规划供应保障	238
6.2.4	规划保障设备	244
6.2.5	规划技术资料	249
6.2.6	规划训练与训练保障	253
6.2.7	规划保障设施	256
6.2.8	规划包装、装卸、贮存和运输(PHS&T)保障	258
6.2.9	规划计算机资源保障	262
6.3	保障系统的形成	263
6.3.1	保障系统的内涵	263
6.3.2	保障系统形成的过程	264
第7章	保障性试验与评价	267
7.1	引言	267

7.1.1	综述	267
7.1.2	试验与评价在寿命周期各阶段的作用	267
7.1.3	试验与评价的类型	268
7.1.4	研制试验与评价	269
7.1.5	使用试验与评价	270
7.1.6	试验与评价的管理	271
7.2	保障性试验与评价	273
7.2.1	保障性设计特性的试验与评价	273
7.2.2	保障系统及其资源的试验与评价	276
7.2.3	保障性的使用评估	279
7.2.4	保障性试验与评价的原则与管理	282
第 8 章	装备生产、部署、使用中的保障性工作	284
8.1	由研制向生产的转移	284
8.1.1	转移工作的要求及准则	285
8.1.2	转移的管理	285
8.1.3	转移过程的影响因素与相应的措施	286
8.1.4	转移过程中的保障性工作	289
8.1.5	设计更改	290
8.1.6	转移过程中的风险管理	291
8.2	装备系统的部署保障	293
8.2.1	部署保障的目标与任务	294
8.2.2	部署保障的规划与实施	294
8.2.3	保障系统的建立	297
8.2.4	部署过程中的保障性试验与评价	300
8.2.5	部署管理	300
8.3	装备使用过程中的保障性工作	303
8.3.1	保障系统的运行	303
8.3.2	使用过程中的故障、维修及保障性评估	305
8.3.3	装备系统的改进	313
8.3.4	停产后的保障	316

第9章 保障性信息管理与应用	319
9.1 保障性信息	319
9.1.1 信息的概念	319
9.1.2 保障性信息的分类与内容	320
9.1.3 保障性信息在装备保障性工程中的作用	322
9.2 保障性信息系统	324
9.2.1 概述	324
9.2.2 保障性信息系统的建立	324
9.2.3 保障性信息系统设计构想	329
9.3 保障性信息的管理与应用	330
9.3.1 保障性信息需求分析	330
9.3.2 信息处理流程	331
9.3.3 保障性分析汇总报告	338
9.3.4 保障性分析记录	340
9.3.5 保障性信息的管理	343
9.4 保障性信息系统的发展	345
9.4.1 信息系统的发展过程	345
9.4.2 可靠性信息系统的发展	346
9.4.3 持续采办和寿命周期保障	348
9.5 国内外保障性信息标准简介	356
9.5.1 保障性分析记录	356
9.5.2 美军标 MI-PRF-49506《后勤管理信息》	356
9.5.3 美军标 MIL-HDBK-59B《持续采办和寿命周期 保障(CALS)实施指南》	358
9.5.4 美军有关信息处理的其它规范、标准	358
9.5.5 国内有关信息处理的其它规范、标准	359
第10章 保障性管理	360
10.1 概述	360
10.1.1 保障性管理的意义	360
10.1.2 保障性管理的特点	361

10.2	保障性工作规划	362
10.2.1	保障性总计划	362
10.2.2	保障性工作计划	366
10.3	保障性组织机构	368
10.3.1	订购方的组织机构	368
10.3.2	承制方的组织机构	369
10.3.3	保障性联合管理组	370
10.3.4	保障性综合产品小组(IPT)	370
10.4	保障性评审	373
10.4.1	评审的类型	373
10.4.2	保障性评审应注意的问题	374
10.5	保障性风险管理	375
10.5.1	风险管理准则	375
10.5.2	风险管理的程序与方法	376
10.5.3	风险管理职责	379
10.6	装备全寿命管理各阶段的保障性工作	380
10.6.1	论证阶段的保障性工作	380
10.6.2	方案阶段的保障性工作	381
10.6.3	工程研制阶段的保障性工作	382
10.6.4	定型阶段的保障性工作	383
10.6.5	生产与部署阶段的保障性工作	384
10.6.6	使用阶段的保障性工作	385
10.6.7	退役阶段的保障性工作	386
10.7	非研制产品的保障性管理	386
10.7.1	在非研制产品采购中的保障考虑	387
10.7.2	对确定非研制产品所需保障的考虑	388
10.7.3	对引进装备保障问题的考虑	390
	参考文献	392

第 1 章 绪 论

任何装备只要使用,就需要保障,这里所说的保障,是指装备到部队使用现场后,对其实施的保障工作,包括维护、修理、备件供应等。过去,一般在装备研制出来以后,才开始考虑其保障问题。采用这种方式研制出的装备,不仅使用与保障费用高、保障困难,而且装备到部队后迟迟不能形成战斗力,给部队的保障工作造成了很大的负担,通常称这种装备的保障性好。根据美英国防部的统计数字表明,美国 1987 年武器装备的使用与保障费用占国防预算的近三分之一,英国 1985 年皇家空军的维修费用占空军军费预算的 40%。目前,国外复杂武器装备的使用与保障费用占装备寿命周期费用的 60%,有的高达 70%~80%,而且这一比例还在不断升高。为了解决以上问题,他们除了改善装备的可靠性和维修性等设计特性外,还在武器装备的研制中,重视了装备的保障性好。

我国的武器装备不仅存在与国外装备同样的问题,而且还出现了装备交付部队后,迟迟不能形成战斗力的问题,这些问题极大地制约了装备效能的发挥。为了解决这些问题,一方面要强调实行装备全系统全寿命管理,并将其作为装备工作应当遵循的原则之首,另一方面要从装备认证工作的开始就重视装备的保障性好问题,进行保障性好设计,大力开展保障性好工程的研究与应用工作,为装备全系统全寿命管理提供有效的工程方法。

1.1 保障性好工程概念的提出

保障性好工程是随着人们对保障性好问题重要性认识的增强以及

装备复杂程度的提高,而产生的一门综合性应用学科,是装备可靠性工程、维修性工程以及与保障有关的其它专业工程综合发展的必然结果,反映了人们对提高装备保障性的一种强烈需求。

1.1.1 可靠性工程的产生

各种不同专业学科都是随着人类各种活动的需要而产生的。可靠性工程产生于 20 世纪 50 年代,美国军方与工业界为解决军用电子设备和复杂导弹系统的可靠性问题,有组织地开展了可靠性研究。1952 年美国国防部成立了一个由军方、工业部门和学术界组成的电子设备可靠性咨询组 (AGREE)。1955 年 AGREE 开始实施一个从设计、试验、生产到交付、储存和使用的全面的可靠性发展计划,并于 1957 年发表了《军用电子设备可靠性》的研究报告。该报告从 9 个方面阐述了可靠性设计、试验及管理的程序及方法,确定了美国可靠性工程发展的方向,是可靠性工程发展的一个奠基性文件,标志着可靠性工程已形成一门独立的学科。20 世纪 50 年代~60 年代是可靠性工程全面、成熟的发展阶段,可靠性工程理论和方法在一些重大装备(如 F-16A、M1 坦克等)研制中得到了应用,并取得了良好的效果。

20 世纪 80 年代以来,可靠性工程得到了深入的发展,可靠性和维修性已成为提高装备战斗力的重要因素,可靠性已被置于与性能、费用和进度同等的地位。1980 年美国国防部首次颁布可靠性及维修性指令 DoDD5000.40《可靠性及维修性》。1985 年,美国空军推行了“可靠性及维修性 2000 年行动计划”(R&M2000),该计划从管理入手,依靠政策和命令来促进空军领导机关对可靠性工作的重视,加速观念转变,使可靠性工作在空军部队形成制度化。这一系列措施,加强了可靠性及维修性工作,提高了武器装备的战斗力,其成效从海湾战争、科索沃战争已得到充分证明。

1.1.2 维修性工程的产生

随着可靠性工作的深入发展,人们认识到从装备战备完好性和

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,随着军用电子设备复杂程度的提高,装备的维修工作量不断增大,费用不断提高,大约 250 个电子管就需要一个维修人员,美国国防部每天要花费 2500 万美元用于各种武器装备的维修,每年约 90 亿美元,占国防预算的 25%,因此,装备的维修性问题引起了美国军方的重视,从 50 年代后期开始,开展了电子设备的维修性设计、试验等验证技术的研究,60 年代中期相继制订了一系列维修性标准并在 F-111 飞机等装备上得到应用,形成了维修性工程学科。20 世纪 70 年代,随着半导体集成电路及数字技术的迅速发展,军用电子设备的设计及维修产生了很大变化,设备自测试、机内测试 (BIT)、故障诊断等概念引起了设计师和维修性工程师的重视。此后,故障诊断能力、机内测试成为维修性设计的重要内容。

20 世纪 80 年代以来,美国颁布了一系列军用标准,强调测试性是维修性工作的一个重要组成部分,认为机内测试及外部测试性不仅对维修性设计产生重大影响,而且影响到装备的战备完好性和寿命周期费用。为解决现役装备存在的诊断能力差、机内测试虚警率高等问题,美英等国相继开展综合诊断及人工智能技术应用的研究,并在新一代的武器系统中得到应用。美国空军实施了通用综合维修和诊断系统计划,海军实施了综合诊断保障系统计划,陆军实施了维修环境中的综合诊断计划。综合诊断已在美国空军的先进战术战斗机 F-22、轰炸机 B-2、陆军的倾斜转子旋翼机 V-22 的研制及 M1 坦克的改型中得到应用。

1.1.3 保障性的提出及综合后勤保障的产生

随着装备复杂程度的提高,在 20 世纪 70 年代中期服役的大型复杂装备都面临着使用保障费用高和战备完好性差两大难题。当时,美英等国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,严重地影响着部队的作战能力。例如, F-15A

每出动飞行一架次平均需要维修 15h, 其中大约 20% 的时间用于等待备件, 30% 的时间处于维修或等待维修。为了解决这两大难题, 除了改善可靠性及维修性, 近十多年来, 在武器装备的发展中, 保障性引起了各国的重视。

保障性 (Supportability) 是系统的设计特性和计划的保障资源能满足平时战备和战时使用要求的能力。通过可靠性设计、维修性设计、测试性设计及其它便于装备保障的设计, 使装备具有了便于保障的设计特性; 另一方面通过保障系统设计, 使装备能得到所需的保障资源, 在这个过程中, 需要开展保障性分析使装备的设计与保障系统的设计达到最佳的匹配, 保证装备以最佳的寿命周期费用, 达到规定的保障性目标。

1973 年美国国防部颁布军用标准 MIL-STD-1388-1《后勤保障分析》和 MIL-STD-1388-2《国防部对后勤保障分析记录的统一要求》, 随后又经过多次修改补充, 这两个标准规定了装备寿命周期内各个阶段开展保障性工作的要求和程序, 为改善装备的保障性提供了工具。其后在 F-16、F/A-18 战斗机及 M1 主战坦克等的研制中, 相继开展了保障性分析及设计。

在 20 世纪 80 年代中期, 装备的保障性问题引起了普遍的重视, 美国军方认识到保障性问题, 不仅需要通过分析与设计来解决, 更重要的是要从管理入手, 全面解决, 于是, 提出了“综合后勤保障”的概念。1983 年美国国防部颁布了指令 DoDD5000.39《系统和设备综合后勤保障的采办和管理》, 该指令规定保障性应与性能、进度和费用同等对待。规定了从装备寿命周期的一开始就要开展综合后勤保障工作, 以达到规定的保障性要求。随后美国三军先后颁布了一系列有关综合后勤保障的指令文件, 规定开展综合后勤保障工作的政策、程序和职责。

到了 20 世纪 90 年代, 美国国防部废除了 DoDD5000.39, 将综合后勤保障纳入国防部指示 DoDI5000.2《防务采办管理政策和程序》, 确定将综合后勤保障作为装备采办工作的一个不可分割的组成部分。美国采办改革后, 提出了“采办后勤”的概念。“采办