

装备保障性工程与管理

Supportability Engineering and
Management for Equipment

徐宗昌 主编 黄益嘉 杨宏伟 副主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

装备保障性工程与管理

Supportability Engineering and Management for Equipment

徐宗昌 主编

黄益嘉 杨宏伟 副主编

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

装备保障性工程与管理/徐宗昌主编. —北京:国防工业出版社, 2006.1

ISBN 7-118-04229-3

I. 装... II. 徐... III. 武器装备—后勤保障—基本知识 IV. E144

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 133156 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)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 15 $\frac{1}{2}$ 字数 396 千字

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价:44.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764



徐宗昌，男，汉族，1941年1月出生，浙江永嘉县人，专业技术少将，1964年毕业于西安军事电信工程学院无线电遥控专业。装甲兵工程学院教授，博士生导师，装备保障研究中心总工程师，兼任北京理工大学兼职教授、广东工业大学客座教授、总装备部可靠性共用技术专业组顾问、中国系统仿真学会常务理事、中国兵工学会装备保障专业委员会副主任、全国工业自动化系统与集成标准化技术委员会委员等职。

曾长期在西北导弹试验基地从事地空导弹研制、定型及科研试验的总体技术工作，1984年3月后调装甲兵工程学院从事武器系统与运用工程的教学和科研工作。1988年后致力于装备保障性与综合保障（ILS）的研究，1992年开始CALS的研究，并倡导在我国推行CALS，是我国较早在这两个领域开展研究的专家。1993年起享受国务院特殊津贴。主编GJB1371《装备保障性分析》等多项国家军用标准；出版《保障性工程》等专、译著10多部，发表论文200多篇。获国家及军队级科技进步奖10多项。

装备保障性工程与管理

主 编 徐宗昌

副主编 黄益嘉 杨宏伟

编著者 (按姓氏笔画排序)

王铁宁 申 莹 刘义乐 张文俊

吴建忠 杜家兴 单志伟 杨学强

杨宏伟 姜 晨 郭金茂 徐宗昌

曹 钰 梅国建 黄 伟 黄益嘉

序

当代,以信息技术为核心的高技术的飞速发展及其在军事上的广泛应用,在世界范围内兴起了一场深刻的新军事变革,极大地推动着军事装备向信息化、智能化、精确化、一体化发展,以信息化为主要特征的高技术战争——信息化战争,正成为未来战争形态的发展趋势。面对世界新军事变革的挑战,为保卫领土完整和国家安全,我们必须加速装备的现代化建设,努力完成我军机械化信息化建设的双重历史任务。

从1991年海湾战争以来,世界上所发生的几场高技术局部战争一再表明,在高技术战争中,装备愈现代化,装备保障的任务就愈繁重、难度也就愈大;良好的装备保障成为提高战斗力的倍增器,是发挥装备作战效能,乃至决定战争胜负的关键因素。而在现代战争中,装备好不好保障,需要怎样保障,以及如何规划它的保障和实施保障,在很大的程度上决定设计、研制和制造时赋予装备及其保障系统的固有特性。这个固有特性就是装备系统的保障性。保障性是装备诸设计特性和计划的保障资源(包括人力)满足装备系统可用性和战时利用率要求的程度。因此,保障性就成为实施准确、及时、高效的装备保障和提高装备保障能力的基础。推动和发展装备保障性工程与管理,就是为了夯实这个基础。

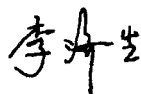
《装备保障性工程与管理》认真地总结我国装备保障性工程发展的成功经验和科学研究成果,积极地借鉴了国外先进的理念与技术,运用综合集成的系统思想,创造性地提出了一套新的保障性工程理论体系,构建了适合于我国装备发展的保障性系统工程结

构框架。该结构框架涵盖与交叉融合了可靠性、维修性、测试性、人素工程特性、生存性等专业工程学科和器材保障、保障设备、设施、技术资料等保障专业学科,集成了保障性分析及其他相关的辅助分析方法。在此基础上,系统、全面地论述了保障性工程的理论、技术与方法,并理论密切联系实际,将其应用于寿命周期各阶段的保障性工程活动之中,着力解决装备设计、研制、生产及使用过程中的管理与工程化的问题。

本书作者长期致力于装备的研制、试验、科研与教学,有很深的学术造诣和丰富的实践经验。作者是国内最早从事保障性研究和“持续采办与寿命周期保障”(CALS)研究的专家之一。本书结构严谨、思路新颖、内容丰富、可读性和实用性强,是一部学术水平高,理论与方法有重大创新的学术专著。它既可为装备机关、部队、研究院所从事装备工作的人员提供指导,也可以作为院校教师、学生的好教材或参考书。本书的出版对我国装备保障性工程的发展起到重要的推动作用,对提高高技术战争条件下我军装备作战能力与保障能力具有重要理论指导意义,为加速我军装备的发展做出贡献。

总装备部科技委委员

中国科学院院士



2005年10月

前 言

在现代战争中,特别是在未来的信息化战争中,装备保障的地位愈来愈重要,能否为高技术装备和信息化装备提供强有力的保障成为决定战争胜负的关键性因素。而装备的保障需求和保障能力的基础是装备系统的保障性。保障性作为装备系统的一个重要的综合性设计特性,是从与装备保障有关的设计特性解决装备“好保障”和计划的保障资源解决装备“保障好”,这两个方面来实现提高战备完好性与任务成功性和降低保障资源要求与寿命周期费用的目标。

保障性工程是运用系统的方法,研究为提高装备保障性在研制、生产与使用过程中所进行的各项工程技术和活动的一门专业工程学科。保障性工程过程贯穿于整个寿命周期,采用并行设计方法对装备系统的保障性和保障过程进行综合、并行的设计与研制,并利用保障性分析作为其分析的工具,在寿命周期各阶段进行反复迭代,为保障性工程各项活动提供决策依据。实施保障性工程就是要在装备立项论证开始就综合考虑装备保障问题,制定一套与战备完好性目标、设计及保障互相协调的保障性要求并将其纳入装备系统的设计;在进行包括可靠性、维修性、测试性、人素工程特性等装备保障性特性设计的同时,同步协调地规划、研制、购置、及筹措保障资源;进行保障性试验与验证;确保在装备部署使用时,及时建成经济有效的保障系统,为装备提供保障。

装备保障性不仅是设计出来的、制造出来,也是管理出来的。

由于保障性工程涉及学科专业面宽,其活动贯穿于寿命周期各个阶段,又需要订购方与承制方密切配合,因此,必须运用系统工程管理,对保障性工程采取强有力的组织与管理措施。在当前信息化条件下,主要是采用并行工程和全寿命信息管理(CALS)的方法。

全书分为八章。第一章绪论,在介绍装备的保障、综合技术保障、保障性和保障性分析的概念基础上,阐述了保障性工程的定义、目标、基本内容,以及寿命周期各阶段保障性工程的任务。第二章保障性工程基础知识,主要介绍可靠性、维修性、可用性、测试性、人素工程、生存性与战场抢修、安全性、寿命周期费用、效能、系统工程等基础知识。第三章保障性分析,主要阐述保障性分析和可靠性与维修性预计,故障树分析,故障模式、影响及危害性分析,以可靠性为中心的维修分析,修理级别分析,使用与维修工作分析,生存性分析和寿命周期费用分析等相关辅助分析。第四章保障性工程过程,主要阐述确定使用要求、制定保障性要求、制定保障系统方案、功能分析、保障性指标要求分配及其他保障性工程过程。第五章保障性设计特性设计,主要阐述可靠性设计、维修性设计、测试性设计、人素工程设计及其他相关专业工程设计。第六章保障资源设计,主要阐述确定保障资源要求的过程和人力与人员、器材保障、保障设计、技术资料、训练与训练器材、计算机资源保障及保障设施等保障资源的设计与规划。第七章保障性评估,主要阐述保障性评估的概念、内容、方法和保障性试验、保障性评价。第八章保障性工程管理,主要论述保障性工程接口、保障性工程管理的方法、保障性工程的组织机构和专业人员配备、保障性工程的规划与控制、保障性工程的风险管理、保障性信息管理等。

本书的编著工作是在总装备部综合计划部指导与大力支持和编写组同志们共同努力下完成的。中国科学院李济生院士、中国工程院徐滨士、王众托、李伯虎院士对本书的编著与出版工作给予

了悉心的指导。李济生院士还专门为本书写了序,给予很高的评价和热情的鼓励。冉懋雄、章国栋、徐学文、游光荣、杨华珍、康学儒、吴纬、栗琳、段晓云等专家参加本书的审查工作,并提出了宝贵的修改意见和建议。在此表示衷心感谢。

由于编著者水平所限,错误之处在所难免,恳请读者指正。

作者
2005年9月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 装备的保障与综合技术保障.....	1
第二节 保障性与保障性分析	12
第三节 保障性工程概述	23
第二章 保障性工程基础知识	40
第一节 可靠性	40
第二节 维修性	58
第三节 可用性	69
第四节 测试性	76
第五节 人素工程	81
第六节 生存性与战场抢修	88
第七节 安全性	92
第八节 寿命周期费用	97
第九节 效能.....	108
第十节 系统工程.....	115
第三章 保障性分析	126
第一节 保障性分析方法及相关标准.....	126
第二节 可靠性、维修性与可用性预计	148
第三节 故障树分析.....	158
第四节 故障模式、影响及危害性分析	168
第五节 以可靠性为中心的维修分析.....	174
第六节 修理级别分析.....	191
第七节 使用与维修工作分析.....	203

第八节	生存性分析·····	212
第九节	寿命周期费用分析·····	217
第四章	保障性工程过程·····	220
第一节	确定使用要求·····	220
第二节	制定保障性要求·····	229
第三节	制定保障系统方案·····	237
第四节	功能分析·····	245
第五节	保障性指标要求分配·····	254
第六节	保障性工程过程的其他活动·····	264
第五章	保障性设计特性设计·····	268
第一节	可靠性设计·····	268
第二节	维修性设计·····	281
第三节	测试性设计·····	287
第四节	人素工程设计·····	298
第五节	其他相关专业工程的设计·····	307
第六章	保障资源设计·····	317
第一节	确定保障资源要求的过程·····	317
第二节	人力与人员设计·····	335
第三节	器材保障设计·····	330
第四节	保障设备的规划设计·····	342
第五节	技术资料的编制·····	345
第六节	训练与训练器材的规划设计·····	348
第七节	计算机资源保障设计·····	352
第八节	保障设施的规划设计·····	357
第九节	包装、装卸、储存和运输资源的规划设计·····	360
第七章	保障性评估·····	365
第一节	保障性评估概述·····	365
第二节	保障性试验·····	372
第三节	保障性评价·····	395
第八章	保障性工程管理·····	406

第一节	保障性工程的接口·····	406
第二节	保障性工程的管理方法·····	412
第三节	保障性工程的组织·····	421
第四节	保障性工程的规划·····	431
第五节	保障性工程的控制·····	437
第六节	保障性工程的风险管理·····	446
第七节	保障性信息管理·····	456
参考文献 ·····		467

第一章 绪 论

在现代战争中,广泛使用高技术装备,随着高技术装备的技术复杂程度迅速地提高,使得装备作战效能的发挥更加依赖于保障,装备保障已经成为制约现代战争进程和胜负的关键因素。然而,装备是否“好保障”和“保障好”取决于装备系统的保障性。因此,如何从设计、研制、制造及其管理提高装备系统保障性是决定装备保障的基础。

本章在介绍装备保障、综合技术保障、保障性和保障性分析的概念的基础上,阐述了保障性工程的定义、目标、基本内容以及寿命周期各阶段保障性工程的任务。本章还论述了保障性与综合技术保障的关系、与可靠性维修性的关系,以及综合技术保障与技术保障的关系。

第一节 装备的保障与综合技术保障

一、装备系统和装备保障

(一) 装备系统的概念

装备与其保障系统所构成的一个系统,叫武器系统或装备系统(material system)。装备系统定义为:装备及其保障系统,包括使用与维修人员在内所构成的能执行规定任务的一个完整的有机组合体^[1]。装备是直接执行任务的硬件与软件部分,有时称为主装备。保障系统(support system)是用来保障主装备的部分。装备系统的构成示意图如图 1-1 所示。

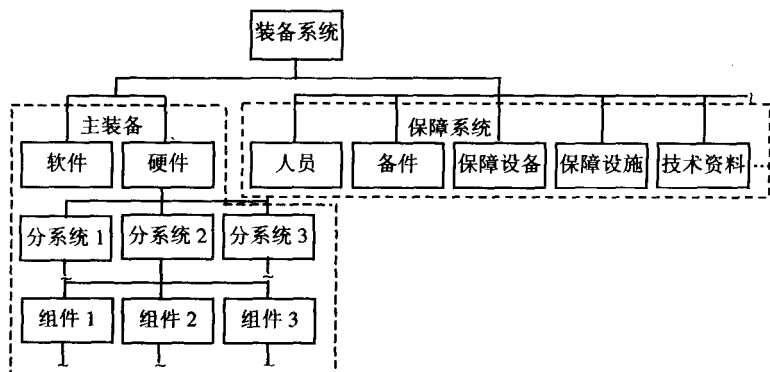


图 1-1 装备系统构成示意图

主装备按功能与结构可划分为若干层次，如分系统(subsystem)、机组(set)、单机(group)、单元(unit)、组件(assembly)、分组件(subassembly)、元(零)件(part)等。划分的层次多少，主要取决于装备的复杂程度。一般来说，装备愈复杂，划分的层次愈多。保障系统的功能是为装备正常运行提供有效的保障。保障系统定义为：装备的寿命周期内，用于使用与维修装备的所有保障资源的有机组合。保障资源是指使装备系统满足战备完好性与持续作战能力的要求所需的全部物资与人员。保障系统一般由使用与维修人员、备件、保障设备、保障设施、技术资料等保障资源组成。为了保证能对主装备提供经济、高效的保障，主装备与保障系统必须具有良好的匹配关系。这种匹配关系要在装备系统的设计、研制过程中建立。装备的保障系统是建立技术保障体系的基础。

(二) 装备的保障

良好的装备要求具有能随时执行作战任务和在执行任务期间能持续地执行其作战任务的能力。要使装备能在平时的战备训练和战时执行作战任务中保持其设计的功能并持续地发挥其作战效能，就必须由它的保障系统提供有效的保障。装备保障的任务是保障

主装备的正常使用(运行),因此,装备保障的实质是使用保障。对于大多数装备来说,装备保障的主体是装备的维修工作,除维修外,还有其他的一些保障勤务工作。

1. 维修

维修(maintenance)是装备在储存和使用(服役)过程中,为保持、恢复或改善装备的规定状态所进行的全部技术与管理活动。按照维修活动的目的与时机,可以划分为:

(1) **预防性维修**。预防性维修(preventive maintenance)是在故障发生前预先对装备所进行的维修活动,其目的是消除可能的故障隐患,保持装备处于规定状态。它包括:调整、润滑与保养、定期检查和定期更换等。对于其故障后果危及安全、任务成功或导致较大经济损失的装备或装备部分,预防性维修有明显的效果。装备失效或出现故障是有规律可循的,通过“以可靠性为中心的维修分析(reliability centered maintenance analysis, RCMA)”和逻辑决断的方法,制定预防性维修大纲(见第三章第五节),可以使预防性维修的安排更加科学、经济和更加有计划性。因此,预防性维修也叫计划维修。

(2) **修复性维修**。修复性维修(corrective maintenance)是故障发生后对装备所进行的维修活动,其目的是排除已出现的故障,恢复装备到规定状态,所以也叫排除故障或故障维修。修复性维修通常包括:故障定位、故障隔离、分解、更换零部件、再组装、调校及检测,以及修复损坏件等活动。

(3) **战场抢修**。战场抢修(battlefield damage assessment and repair, BDAR)是装备在战斗中遭受损伤或发生故障后,在评估损伤的基础上,采用快速诊断与应急修复技术所进行的修理活动,其目的是尽快修复战斗损伤部位或排除故障使装备恢复到所要求的状态。这个要求的状态是指根据实际需要与可能恢复装备全部功能或部分必要的作战功能,如装甲车辆恢复行驶或射击功能、飞机恢复到能返回我方阵地的功能。战场抢修实质是修复性维修,但是,由于战场抢修是在恶劣的战斗环境下、时间十分紧迫、战

损部位与故障部位有明显的区别,以及修理的技术标准、器材供应、维修人员等条件都与平时的修理有较大的不同,所以,本书将其另归一类。

2. 其他保障勤务

其他保障勤务是指装备维修之外,装备使用分队为保障装备正常运行,即作战使用的保障勤务工作。这些保障勤务的内容,对于不同的装备,有较大的差别,通常包括:使用(战斗)前的准备如检查与测试、补充弹药、加注燃料、充电与充气、挂弹,使用后保养、校正,再出动准备,运输,安全防护与舱内卫生保健,以及转移阵地时的撤收与展开等。

有的军、兵种如空军的飞机维修大纲,将上述的其他保障勤务归入装备的维修工作。另外,有的专著^[8,16]将装备保障分为维修保障与使用保障,其中使用保障是指上述其他保障勤务。

二、装备保障问题的严重性

随着科学技术的飞速发展和在军事上的广泛应用,武器装备迅速地向信息化、智能化、精确化方向发展,大型、复杂、精良的高技术装备不断地使用,使得在高技术战争中装备出动强度大、战损率高,因而装备保障的难度加大、保障任务加重,良好的装备保障成为提高装备战斗力的培增器,是发挥装备作战效能,乃至决定战争胜负的关键因素。而在现代战争中装备好不好保障,需要什么样保障,以及如何规划它的保障和实施保障,在很大的程度上决定设计、研制和制造时赋予的装备及其保障系统的特性,即保障性。人们希望通过装备的设计、研制与制造来提高保障性。然而,大量高新技术的引入使装备的复杂程度随之迅速提高以后,装备的保障问题日益严重,成为制约装备发展的瓶颈问题,并愈来愈引起世界各国军事部门的密切关注。由装备技术复杂程度的增大而引起的装备保障问题的严重性,主要表现在以下几个方面^[4]。

1. 寿命周期费用显著增长

随着装备的技术复杂程度的提高,装备的研制费、购置费、