

3

“十二五”国家重点出版规划项目

装备综合保障工程理论与技术丛书

丛书主编 于永利  
丛书副主编 张柳

# 装备综合保障工程 综合数据环境建模与控制

ZHUANGBEI ZONGHE BAOZHANG GONGCHENG  
ZONGHE SHUJU HUANJING JIANMO YU KONGZHI

■ 杨军 王毅刚 叶飞 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

“十二五”国家重点出版规划项目  
装备综合保障工程理论与技术丛书

# 装备综合保障工程 综合数据环境建模与控制

杨 军 王毅刚 叶 飞 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

装备综合保障工程综合数据环境建模与控制/杨军,  
王毅刚,叶飞著. —北京:国防工业出版社,2015. 11  
(装备综合保障工程理论与技术丛书/于永利主编)  
ISBN 978-7-118-10617-6

I. ①装... II. ①杨...②王...③叶... III. ①武  
器装备—保障—系统建模 ②武器装备—保障—数字控制  
IV. ①E237

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 288488 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 100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 710 × 1000 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$  字数 162 千字

2015 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 《装备综合保障工程理论与技术丛书》 编著委员会

主任委员 于永利

副主任委员 张 柳

委 员 (按姓氏笔画排序)

王立超	王松山	王毅刚	叶 飞
史俊斌	付 勃	付 康	朱小冬
刘文武	汤心刚	孙志刚	李三群
李东东	李国库	李星新	杨 军
杨 懿	杨英杰	宋海霞	张 伟
张 波	张建荣	陈玉波	封会娟
郝建平	柳 辉	姜朝毅	聂成龙
徐 英	盛 飞	绳 慧	董 岳
韩雪魁			

# 序

21 世纪以来,世界范围内科学技术革命的崛起,信息技术飞速发展并在军事领域广泛应用,有力地冲击着军事领域变革,战争形态逐渐由机械化战争向信息化战争演变,同时对装备保障能力产生的基本形态产生了深刻影响。认真落实习主席“能打仗、打胜仗”指示要求,着眼打赢未来基于信息系统体系作战,我军装备将逐渐形成以军事信息系统为支撑、以四代装备为骨干、以三代装备为主体的装备体系格局。信息化作战需要信息化保障,体系化对抗需要体系化保障。我军装备保障面临着从机械化保障向信息化保障、从单一装备保障向装备体系保障、从线性逐级保障向立体精确保障、从符合性考核向贴近实战考核转变等严峻挑战,未来信息化作战进程中的装备保障实践,对系统科学的装备保障基础理论与方法,提出了时不我待的紧迫要求。

伴随着军事技术和作战形态的发展要求,装备保障理论与技术不断创新发展。针对装备保障的系统研究,在国外始于 20 世纪 40 年代中后期,特别是 20 世纪 90 年代以来,随着“聚焦保障”“基于性能的保障”等新的理念提出,以及相关工程实践的不断深化,装备保障工程在装备全寿命过程中的基础性、全局性的战略地位和作用得到了进一步强化。我国从 20 世纪 70 年代末开始引进、消化、吸收外军装备保障先进理念,运用系统科学思想研究装备保障问题,并在装备型号论证研制以及装备保障能力建设工作中不断应用,取得了大量的理论与实践研究成果,极大地推动了装备保障工程发展。经过 40 多年的研究与实践,装备保障工程在我军装备建设和军事斗争准备中的地位 and 作用不断升华,已经成为装备保障能力建设的基石,正在深刻地影响着装备保障能力和作战能力的形成与发展。装备保障工程既是型号装备建设的基础性工程,也是装备成系统集成建制形成作战保障能力建设的通用性工程,还是作战进程中装备保障实施的重要技术支撑。

装备保障工程是应用系统科学研究解决装备保障问题的学科和技术,是研究装备全寿命过程中战备完好与任务持续能力形成与不断提高的工程技术。它运用系统科学与系统工程的理论和方法,从系统的整体性及其同外界环境的辩证关系出发,分析研究装备使用、装备保障特性与装备保障系统之间的相互作用机理,装备保障特性、保障系统的形成与演化规律,以及相关的理论与方法,并运用这些机理与规律、理论与方法,通过一系列相关的工程技术与指挥管理活动,实现装备的战备完好性与任务持续性以及保障费用与保障规模要求。装备保障工程技术包括装备保障特性工程、装备保障系统和装备保障特性与保障系统综合等技术。

为了积极适应未来信息化作战对装备保障提出的要求,我们组织人员对军械工程学院维修工程研究所十余年来在装备保障工程领域的科研成果进行了系统的总结,形成了装备保障工程系列丛书(共22本,其中有16本列入“十二五”国家重点出版规划项目),旨在为装备型号论证研制以及部队面向实战装备保障与运用提供理论和技术支撑。

整套丛书分为基础部分、面向型号论证研制关键技术部分和面向部队作战训练关键技术部分。

基础部分,主要从装备保障的哲学指导、装备保障作用机理以及装备保障模型体系等方面,构建完善的装备保障工程基础理论,打牢装备保障工程技术持续发展的基础,包括《装备保障论》《装备保障工程基础理论与方法》《装备保障工程技术型谱》《装备综合保障工程综合数据环境建模与控制》《装备保障系统基础理论与方法》《装备使用任务模型与建模方法》和《装备作战单元维修保障任务模型与建模方法》。

面向型号论证研制关键技术部分,主要从装备保障的视角出发,解决装备论证、研制过程中保障特性与保障系统规划、权衡和试验验证等问题,包括《装备保障体系论证技术》《型号装备保障系统规划技术》《型号装备保障特性与保障系统权衡技术》《型号装备保障特性试验验证技术》和《现役装备保障特性评估技术》。

面向部队作战训练关键技术部分,主要面向部队作战训练从维修保障需求确定、维修保障方案制定、维修保障方案评价和维修保障力量动态运用等方面构建完善的技术方法体系,为面向实战的装备保障提供方法手段,包括《装备作

战单元维修保障要求确定技术》《装备作战单元维修保障力量编配技术》《装备作战单元维修保障资源预测技术》《装备作战单元维修保障建模与仿真》《装备作战单元维修保障能力评估方法》《装备作战单元维修保障力量运用》《装备作战单元保障方案综合评估方法》《基于保障特性的装备需求量预测方法》《多品种维修器材库存决策优化技术》和《面向任务的维修单元专业设置优化技术》。

着眼装备建设和军事斗争准备迫切需求,同时考虑到相关研究工作的成熟性,本丛书率先推出基础部分和面向部队作战训练关键技术部分的主要书目,今后随着研究工作和工程实践的不断深入,将陆续推出面向型号论证研制关键技术部分。

装备保障工程是一门刚刚兴起的新兴学科,其基础理论、技术方法以及工程实践的开展远没有达到十分成熟的阶段,这也给丛书的编著带来了很大的困难。由于编著人员水平有限,这套丛书不可避免会有很多不妥之处,还望读者不吝赐教。

丛书编委会

2015年11月

# 前 言

随着装备的现代化,装备保障已经成为战斗力的重要组成部分,它与作战性能居于同等重要地位,是制约装备发展和影响装备寿命周期费用的重要因素。信息化是当前武器装备发展的大趋势,也是装备综合保障发展的必然走向,信息是开展装备综合保障工作的物质基础,是实现装备全寿命管理的重要依据。然而,从装备综合保障工作的实施来看,其业务流程、组织和功能都缺乏规范化;从支持信息交互与共享来看,没有一个统一、标准的数据来源;从全寿命过程监管来看,难以对装备综合保障工作的实施进行有效的管理与控制。因此,当前迫切需要为装备全寿命过程综合保障工作的实施提供一个规范化的管理平台,实现对装备综合保障工作的总体把握和协调。

针对上述问题,本书重点综述了装备综合保障当前状况和发展趋势,以及数据环境典型应用、相关研究和发展趋势,分析了装备综合保障当前面临的主要问题,提出了装备综合保障数据环境的基本概念,通过需求分析建立了装备综合保障数据环境的系统结构,明确了装备综合保障数据环境的研究框架和基本问题,为规范装备综合保障数据的产生和使用提供了有效的管理与控制方法,为装备综合保障工作的实施提供了集成化、数字化的管理平台。

全书共分5章。第1章主要阐述了装备综合保障及数据环境现状及发展趋势,分析了装备综合保障当前面临的主要问题,明确了开展装备综合保障数据环境建模与控制研究的目的及意义;第2章从全寿命过程角度提出了装备综合保障数据环境的基本概念,建立了由工作维、模型维和层次维组成的装备综合保障数据环境研究框架,明确了建模研究、控制研究、综合保障业务工具开发与集成研究、系统设计与实现等基本问题;第3章在明确建模方法的基础上主要构建了装备综合保障数据环境系统组织模型和角色模型、系统功能模型、系统数据模型,并分析了上述模型之间的相互关系;第4章为装备综合保障数据

环境控制研究,主要确定了用户访问和业务流程控制机制,利用有色 Petri 网和面向对象技术定义并建立了装备综合保障数据环境的系统控制模型,使用户访问控制、业务流程控制能够与装备综合保障业务流程的运行动态结合;第 5 章利用面向服务技术进行装备综合保障数据环境设计,建立了系统运行的基本构架,并以“联合作战装备综合保障分析与评价”为实例进行应用研究。

本书由军械工程学院装备指挥与管理系装备维修工程实验中心杨军、王毅刚、叶飞共同编著,杨军负责全书的统稿和修改。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

作者

# 目 录

第1章 绪论 .....	1
1.1 装备综合保障概述 .....	1
1.1.1 产生背景 .....	1
1.1.2 当前状况 .....	2
1.1.3 发展趋势 .....	5
1.2 数据环境概述 .....	8
1.2.1 典型应用 .....	9
1.2.2 相关研究 .....	18
1.2.3 存在问题及发展趋势 .....	25
1.3 研究目的及意义 .....	27
1.4 本书主要内容及基本思路 .....	28
1.4.1 主要内容 .....	28
1.4.2 基本思路 .....	29
1.5 本章小结 .....	30
参考文献 .....	31
第2章 装备综合保障数据环境系统分析 .....	33
2.1 概述 .....	33
2.1.1 数据环境概念及特点 .....	33
2.1.2 装备综合保障 .....	34
2.1.3 装备综合保障与数据环境的关系 .....	38
2.2 ILSDE 需求分析 .....	40
2.2.1 综合保障工作分析 .....	40
2.2.2 功能需求分析 .....	43

2.2.3	资源需求分析	46
2.2.4	用户需求分析	47
2.2.5	信息需求分析	50
2.3	IILSDE 系统结构	52
2.3.1	应用层	53
2.3.2	对象层	53
2.3.3	数据层	54
2.3.4	功能层	54
2.4	IILSDE 研究框架及基本问题	54
2.4.1	研究框架	54
2.4.2	基本问题	57
2.5	本章小结	58
	参考文献	59
<b>第 3 章</b>	<b>装备综合保障数据环境建模研究</b>	<b>60</b>
3.1	IILSDE 系统组织建模	60
3.1.1	组织建模方法	60
3.1.2	IILSDE 系统组织模型	62
3.2	IILSDE 系统功能建模	65
3.2.1	基于用例的功能建模方法	66
3.2.2	IILSDE 系统功能模型	67
3.3	IILSDE 系统数据建模	79
3.3.1	数据建模概述	79
3.3.2	IILSDE 系统数据模型	82
3.4	模型关系	90
3.5	本章小结	92
	参考文献	92
<b>第 4 章</b>	<b>装备综合保障数据环境控制研究</b>	<b>93</b>
4.1	控制机制与方法分析	93
4.1.1	用户访问控制	93
4.1.2	业务流程控制	97

4.2	ILSDE 系统控制模型 .....	104
4.2.1	Petri 网定义 .....	104
4.2.2	基于 OCPN 的控制模型 .....	107
4.3	应用实例 .....	114
4.3.1	控制模型应用 .....	114
4.3.2	基于实例的控制分析 .....	117
4.4	本章小结 .....	123
	参考文献 .....	123
<b>第 5 章</b>	<b>面向服务的装备 ILSDE 系统设计及实现 .....</b>	<b>125</b>
5.1	系统实现存在的问题 .....	125
5.2	服务概述 .....	126
5.2.1	基本概念 .....	126
5.2.2	面向服务体系结构 .....	129
5.3	面向服务的装备 ILSDE 系统设计 .....	130
5.3.1	服务描述 .....	130
5.3.2	控制引擎 .....	133
5.3.3	ILSDE 系统结构 .....	137
5.3.4	系统数据库 .....	140
5.4	装备 ILSDE 系统实现与应用 .....	144
5.4.1	系统实现 .....	144
5.4.2	主要功能及应用 .....	147
5.5	本章小结 .....	152
	参考文献 .....	152
<b>附录</b>	.....	<b>154</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 装备综合保障概述

### 1.1.1 产生背景

“装备综合保障”源于“综合后勤保障”(Integrated Logistics Support, ILS), 是美军在 20 世纪 60 年代首先提出来的。

第二次世界大战以后, 由于作战需求的牵引和科学技术进步的推动, 武器装备发展日新月异, 一大批技术先进、结构复杂的军用飞机、坦克和军舰相继研制出来。技术性能和复杂程度的提高不仅导致装备研制费用大幅度上升, 而且造成装备的使用和保障费用急剧增长。据统计, 20 世纪 70 年代以后美军每年国防预算的三分之一都消耗在装备的使用和维修方面。装备的使用保障费用在全寿命费用中所占的比率高达 60%, 有的甚至达到 70% ~ 80%。另外, 装备保障在战争中的作用和地位也越来越突出。随着装备技术水平越来越先进, 复杂程度和作战使用要求不断提高, 其所依赖的保障系统也日益庞大、复杂。而当时的实际情况是, 在装备的研制过程中, 只考虑主装备本身的战术技术性能, 没有全面、综合地考虑装备的保障需求。这些武器装备投入部队使用后, 虽然战术技术性能水平比较先进, 却难以发挥其应有的作战效能, 迟迟不能形成战斗力, 主要表现在可靠性低、故障率高、备件需求量大、使用和维修保障困难, 以及战备完好率低。

上述事实迫使美军开始转变其装备的发展策略, 探索解决在装备研制过程中如何把主装备研制与其保障系统建设同步考虑的问题。于是就提出了“综合后勤保障”的概念, 综合后勤保障体现了武器装备发展思想和方法的改变。在这种思想的指导下, 要求武器装备的发展必须从全系统全寿命的高度, 追求武器装备的总体作战效能, 将装备保障要求纳入装备设计, 在研制主装备的同时, 同

步考虑装备使用和维修所需的保障需求,进行保障系统同步设计,在交付主装备的同时,同步交付装备保障所需的资源,建立保障系统,使装备部署后能尽快形成保障能力和战斗力。

## 1.1.2 当前状况

### 1.1.2.1 国外研究现状

美军武器装备综合保障发展经历了从事后保障到综合后勤保障的发展演变过程,自 20 世纪 90 年代后期开始进入全寿命保障阶段。全寿命保障,亦称寿命周期保障,即在装备的寿命周期内对装备保障问题实施“从摇篮到坟墓”的合同管理方法,它可简单化地理解为:“谁研制,谁生产,谁终身维修,及至退役处理。”美军认为这种方法不仅能够充分保障装备的战备状态,而且是执行经济可承受性发展战略必不可少的途径。这种全寿命管理机制使武器装备的采办和保障实现了一体化。在保障策略上,寿命周期保障首选基于性能的全寿命产品保障(PBL)模式;在保障技术途径上,发展自主式保障;在保障管理上,采用寿命周期持续保障,美军 F-35 装备研制中就全面贯彻了上述思想。另外,在当前严峻的国防预算形势下,美国国防部正在落实的“更佳购买力指南 2.0”,以实现国防支出的更高效率和生产力。其中将增加基于性能的保障(PBL)的有效使用作为激励工业界和政府部门提高生产力和增加创新的一项重要举措。

#### 1. 基于性能的保障

20 世纪 90 年代,为适应新军事变革,美军积极推进基于性能的后勤(PBL)保障策略。其目的是适应新的作战环境和作战样式对装备保障的要求,缩减后勤规模,降低使用和保障费用,提高经济可承受性以及装备的战备完好性。目前,基于性能的保障已发展成国防部首选的后勤保障策略。

PBL 作为获取和实施武器系统持续保障的新理念,是后勤改革的需要,是新 DOD 5000 政策的要求,是使政府/购买方和企业/供应方都能获益的最佳方法,它与传统的保障有极大的不同,这可以从下面 PBL 的主要原则中得到体现:①购买性能结果,而不是以交易为基础的货物和服务;②项目经理(PM)对全寿命周期系统管理(TLCSM)负责;③签订以客观度量标准为基础的基于性能的协议(PBA);④明确产品保障集成方(PSI),将保障集成起来并实现性能/保障目标

的“单一联系点”；⑤公私合作。它将保障作为一个综合的、可承受的性能包来购买，以便优化系统的战备完好性。它通过具有清晰权力和责任界线的长期性能协议为基础的保障结构来实现武器系统的性能目标。

美国实施 PBL 以来，取得了显著成效。阿富汗战争期间，有两个项目的后勤保障达到了历史最高水平，它们是美国海军的辅助动力装置（APU）和空军的联合监视目标攻击雷达系统（JSTARS），而这两个项目都采用了 PBL 保障模式。在伊拉克战争中，实施 PBL 保障和全寿命周期系统管理的项目超过 12 个。所有这些作战平台的保障均超过了作战需求，其中有几个项目特别出色。例如，F-117 和 F/A-18 E/F 战机、C-17 战术运输机等。

## 2. 自主式保障

冷战结束后，各国国防预算都不同程度缩减，而武器系统的采办费用日益庞大，经济承受性作为一个不可回避的问题成为各国军方关注的焦点。而据国外统计数据，在装备寿命周期费用中，使用与保障费用占到了总费用 60% 以上，甚至达到 70% ~ 80%，因此降低装备使用与保障费用的需求迫在眉睫。

自主式保障的目标是设计一种主动的而非被动反应式的后勤保障系统，以最大程度地识别问题并自主启动正确的响应。AL 借助信息化手段，将保障要素综合起来，形成一种无缝的后勤保障系统，这种系统将使武器系统能够以最低的费用达到规定的能执行任务率。其特点突出表现在以下几方面：①故障通报及时，提高了保障的针对性和保障效率，降低了保障的成本；②故障诊断准确，自动化程度高；③提高了后勤保障的快速反应能力和保障系统的灵活性，更好地满足了全球作战的需要；④技术的通用性好，可以在其他武器的保障系统中推广应用。

1996 年开始研制、计划于 2010 年服役的联合攻击机（JSF）F-35 是美国洛克希德·马丁公司研制的新一代战斗攻击机，采用了自主式保障模式。F-35 战斗机的自主式保障系统是一种借助先进数字化信息技术的全新的维修与保障系统，它是使原先劳动力密集型的活动（如维修、备件供应和运输管理）实现自动化的一种方案，即当装备还在空中飞行时，机载的预测诊断系统所检测到的装备故障信息便可自动传输给地面的维修站和后勤补给系统，使其准备好相应的零备件、技术资料、维修人员和维修设备等。当装备着陆后便可快速进行维修，保证装备再次出动，缩短装备再次出动准备时间，提高装备的出动强度并大幅度

减少维修工作量,节省使用和保障费用,提高装备的战备完好性。据估计,采用这种新的保障系统可使维修人力减少 20% ~ 40%,后勤规模减小 50%,出动架次率提高 25%,使装备的使用与保障费用比过去的机种减少了 50% 以上,使用寿命达 8000 飞行小时。

### 3. 寿命周期持续保障

寿命周期持续保障(Life Cycle Sustainment)是指为获得全面、经济可承受和有效的系统性能而进行的早期规划、研制、实施和管理。其目标是确保在系统寿命周期中,在与采办、研制、生产、部署、保障和报废有关的所有规划、实施、管理和监督活动中,综合考虑持续保障因素。

持续保障(Sustainment)是指在寿命期内,为维持系统战备完好性和作战使用能力所需的所有保障职能的总称,包括器材管理、分发、技术数据管理、维修、培训、编目、技术状态管理、工程技术支持、维修备件管理、故障报告和分析以及可靠性增长。美军现行武器系统的后勤保障功能由集中的机构提供,为了最大限度地提高作战效能,减少后勤保障费用,要求武器系统后勤保障转移到基于性能的持续保障模式,对所有功能保障机构进行整合,建立新的保障结构——全寿命周期系统管理(TLCSM)和新的保障策略——基于性能的保障(PBL),把持续保障模式与渐近采办策略相结合,形成了武器系统寿命周期持续保障。

鉴于美军现役 F-15、F-16 和 F/A-18 等第三代飞机的持续保障费用占其寿命周期费用超过 70%,美国国防部 80% 的后勤保障资源用于武器系统的持续保障,每年大约要花费 640 多亿美元。为了解决持续保障费用高的问题,必须开展寿命周期持续保障工作,把持续保障作为装备关键的性能参数,提高武器系统的持续保障能力,有效地把保障性设计到装备中。

#### 1.1.2.2 国内研究现状

我国在装备研制方面大体经历了仿制、改型和自行研制三个阶段。在此期间虽然也积累了大量丰富的装备保障与管理经验,但在装备研制工作中较完整地进行综合保障工作还不多见。在 20 世纪 60 年代至 70 年代我国研制的一批改型装备,从复杂程度上看,与老装备并没有明显区别,在装备保障方面虽然没有出现明显不适应的情况,但已开始出现由于缺少某些必要的保障资源而影响装备使用与维修问题。在 20 世纪 80 年代,我国自行研制了一批换代装备,这些

装备在性能和结构上都有较大的变化,然而在研制期间由于缺少对可靠性、维修性和保障性方面的考虑,装备部署使用后出现了可靠性低、维修性差,不具备必要的修理技术文件、修理和检测设备及备件保证,导致部队没有条件组织训练,也无法进行使用和维修。20世纪80年代中期,我国先后颁布了可靠性与维修性等一系列军用标准,可靠性与维修性工程相继进入装备研制领域。20世纪80年代末,综合保障工程的概念由国外引进,装备及其配套的保障资源要成套论证、成套研制、成套生产、成套验收和成套装备部队的要求以及装备系统的同步发展建设政策也已在我国正式提出,与综合保障工程有关的国家军用标准如《装备保障性分析》《装备预防性维修大纲的制定要求与方法》等均先后颁布实施,有些标准如修理级别分析、装备综合保障大纲、装备保障性分析记录要求等也在制定之中。

20世纪90年代以后,有关院校开始设立综合保障方面的相关课程,如维修工程、费用分析和运用工程等,还出版了相关专著。同时,也开展了大量的专题研究(如修理间隔期、修理级别及修理模型等)并培养了研究生。可以认为,我国综合保障工程的实施也逐步由经验阶段走向工程实践与理论研究并重的阶段。

### 1.1.3 发展趋势

随着科学技术的进步,尤其是信息技术的快速发展,装备综合保障领域出现了一些新的变化趋势。

#### 1.1.3.1 “全系统全寿命”依然是装备综合保障发展的重要指导思想

装备全系统全寿命保障的核心是在装备的设计、研制、生产、采购、补给、使用和报废的全过程中,把装备保障因素考虑进去,从而提高装备的战备完好性水平。

随着军事技术的迅猛发展,新型武器装备对保障装备的依赖程度越来越强,复杂程度和自动化程度日益提高。世界各国在研发新装备的过程中,非常重视同步配套研制维修保障装备,以及硬件系统与相关的软件系统协调配套开发。例如,为了对履带式装甲车辆进行配套保障,西方主要国家同步发展了抢救和修