

装备维修

ZHUANGBEI WEIXIU
BAOZHANG FUZHU JUECE FANGFA

保障辅助决策方法

王正元 朱昱 曹继平 宋建社 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

装备维修保障辅助 决策方法

王正元 朱 昱 曹继平 宋建社 著

國防工業出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

装备维修保障辅助决策方法 / 王正元等著. —北京:
国防工业出版社, 2014. 2

ISBN 978 - 7 - 118 - 09152 - 6

I. ①装... II. ①王... III. ①武器装备 - 维修 - 军需
保障 - 决策方法 IV. ①E237

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 279221 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 7% 字数 209 千字

2014 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 36.00 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

前 言

信息化战争对装备维修保障工作提出了较为严酷的要求,装备维修保障工作面临保障范围大、时间紧、任务重等问题,问题的实质是决策者如何高效利用有限的人力、物力资源在一定的时间、空间范围内完成装备维修保障工作。装备维修保障辅助决策方法是解决这类问题的一种科学方法,无论是对平时装备维修保障工作还是对战时装备维修保障工作,装备维修保障辅助决策方法都能发挥效能倍增器的作用。

本书重点介绍装备维修保障辅助决策中一些关键问题解决的方法,包括备件需求预测问题、存储与运输问题、预防性维修策略问题、维修任务调度问题和维修保障能力评估等。了解装备维修保障辅助决策的方法,对于军事工程技术和管理人员来说非常重要。

本书可以作为装备维修工程、装备管理工程等本科高年级学生、军事运筹学研究生的辅助教材,也可以供工程技术、装备管理工作人员和相关科研人员参考。

本书是在系统总结、吸收作者多年研究工作与教学实践的基础上撰写的。本书的完成得到毕义明、李应岐等教授的支持与鼓励,在此表示感谢。

本书共分七章,全书由王正元统稿。朱昱参加第一章、第二章、第六章的撰写,曹继平参加第四章、第五章的撰写,宋建社指导全书撰写、统稿工作。由于作者水平有限,恳请读者对书中不足之处给予批评指正。

王正元
2013年7月

目 录

第 1 章 绪言	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 数字化部队及其在高技术条件下作战的特点	1
1.1.2 数字化部队作战对装备维修保障的要求	4
1.1.3 新时期装备维修保障存在的问题	5
1.2 研究现状	8
1.2.1 备件消耗量预测问题	9
1.2.2 备件存储策略问题	10
1.2.3 备件携行与配置问题	11
1.2.4 基于状态的预防性维修问题	11
1.2.5 维修任务调度问题	12
1.2.6 维修保障能力评估问题	19
1.3 本书结构与主要工作	20
参考文献	21
第 2 章 装备维修保障辅助决策系统分析	23
2.1 装备维修保障系统	23
2.1.1 装备维修保障系统的组成	24
2.1.2 装备维修保障系统的特点	28
2.2 装备维修保障辅助决策系统的组成、结构与功能	29
2.2.1 数据库主要内容	30
2.2.2 模型库的组成与功能	33
2.3 装备维修任务调度系统	37

2.3.1	装备维修任务调度的概念及特点	37
2.3.2	装备维修任务调度的框架结构	40
2.3.3	维修任务调度问题的分类及其数学表示	42
2.3.4	装备维修任务调度系统结构与功能	46
第3章	备件需求预测方法	50
3.1	不可修复备件消耗预测方法	50
3.1.1	单个故障造成的备件消耗	51
3.1.2	一般情况下备件消耗预测方法	52
3.2	基于仿真的不可修复备件消耗预测方法	53
3.3	可修复备件消耗预测方法	57
3.4	可修复备件消耗预测的仿真方法	59
	参考文献	62
第4章	备件存储与运输策略	64
4.1	一种备件多级库存系统的仿真优化模型	64
4.1.1	模型假设	65
4.1.2	备件多级库存模型	66
4.1.3	小结	74
4.2	多种备件库存系统优化方法	74
4.2.1	瞬间供货、不允许缺货的库存模型	75
4.2.2	瞬间供货、允许缺货的库存模型	76
4.2.3	考虑生产能力、不允许缺货的库存模型	77
4.2.4	考虑生产能力、允许缺货的库存模型	79
4.3	基于备件保障率的备件携行量模型	83
4.3.1	备件携行量模型	84
4.3.2	备件携行量模型的求解方法	85
4.3.3	实例分析	87
4.3.4	小结	90
4.4	可移动备件仓库设置方法	90

4.4.1	可移动备件仓库	92
4.4.2	可移动备件仓库位置选择优化模型	92
4.5	考虑维修能力的战时备件资源配置方法研究	96
4.5.1	战时备件资源配置影响因素分析	97
4.5.2	战时装备维修保障资源配置优化模型	98
4.5.3	例题分析	101
4.5.4	小结	105
	参考文献	106
第5章	预防性维修策略研究	110
5.1	绪言	110
5.2	装备劣化过程数学模型	111
5.3	视情预防性维修策略优化方法	112
5.3.1	故障前部件平均使用时间、检查次数与 视情预防性维修次数	113
5.3.2	初始状态到故障性修复的平均维修费用	115
5.3.3	预防性维修策略优化	116
5.4	小结	118
	参考文献	119
第6章	维修任务调度方法	120
6.1	绪言	120
6.2	考虑资源和负载的装备维修任务分配方法研究	122
6.2.1	多作战单元维修任务分配问题	124
6.2.2	已有维修任务分配算法分析	127
6.2.3	基于资源约束的维修任务选择模型	128
6.2.4	基于负载的维修机构选择模型	133
6.2.5	多作战单元维修任务分配方法	136
6.3	基于最大维修保障时间的装备维修任务调度方法	142
6.3.1	基于最大维修保障时间的装备维修任务调度	

模型	143
6.3.2 基于最大维修保障时间的装备维修任务调度 方法	144
6.3.3 实例分析	145
6.4 不考虑维修专业的维修任务调度	147
6.4.1 维修任务调度问题分析	147
6.4.2 静态维修任务调度模型	148
6.4.3 动态维修任务调度模型	156
6.4.4 小结	159
6.5 考虑专业的维修任务调度方法	159
6.6 考虑维修业务流程的维修任务调度方法	164
6.6.1 问题分类与特征	165
6.6.2 基于维修流程的装备维修任务调度问题算法 分析	168
6.6.3 并行维修流程的装备维修任务调度方法	171
6.6.4 串行同顺序维修流程的装备维修任务调度方法	174
6.6.5 串行不同顺序维修流程的装备维修任务调度 方法	184
6.6.6 混合维修流程的装备维修任务调度方法	191
6.6.7 小结	200
参考文献	200
第7章 维修保障能力评估方法	203
7.1 维修人员保障能力评估方法	203
7.1.1 维修保障能力的指标体系	204
7.1.2 维修保障能力指标的量化	204
7.1.3 综合评估	209
7.1.4 实例分析	211
7.1.5 小结	212
7.2 备件库保障能力评估方法	213

7.2.1	备件库保障能力指标体系	214
7.2.2	备件库保障能力指标量化与评估	215
7.2.3	实例分析	220
7.2.4	小结	221
7.3	维修机构保障能力评估方法	221
7.3.1	维修机构及其任务的组成	222
7.3.2	维修机构保障能力指标量化	223
7.3.3	维修机构保障能力综合评估	224
7.3.4	小结	225
	参考文献	226

第1章 绪 言

1.1 研究背景

我军历代领导人都非常重视科学技术在军事领域中的应用,“科技强军”的正确路线越来越深入人心。尤其是进入21世纪以来,越来越多的国家把军队数字化、信息化建设作为军队建设的重点,我军也相应地提出了大力加强部队机械化、信息化建设的方针。在未来战场上,战争表现为高技术条件下的局部战争,而装备维修保障对高技术装备发挥应有战斗力的保障作用越来越显著。信息化战争下,武器装备在战争中表现的是一种体系与体系之间的对抗,主战装备与通信、气象、后勤、电子对抗等保障装备在不同战场条件下,对战争胜负的影响是动态多变的,维修保障要适应这种体系对抗的保障要求,其复杂性与对信息的依赖性均极大增加,而且装备维修保障的难度也进一步增加,保障任务十分繁重,人力、物力、财力消耗巨大,维修资源供应和维修任务需求矛盾突出。如何对装备维修保障做出科学正确的决策,才能为装备维修保障行动争取时间进而提高部队的战斗力,都需要装备维修保障辅助决策工作发挥越来越重要的作用,而装备维修保障辅助决策方法的研究将具有更加重要的意义。

1.1.1 数字化部队及其在高技术条件下作战的特点

数字化部队与传统部队相比,具有显著的优点,主要表现在:作战指挥的快捷性与科学性,编制结构小型化、功能多样化和作战能力超强度。

1. 作战指挥的快捷性与科学性

数字化部队全面使用数字化武器装备作战,实现了作战信息获取、

传递、处理和使用一体化,作战信息来源广泛、信息量大,指挥员可随时了解战场态势,指挥灵活、中间层次少,指挥程序简单。由于指挥控制系统采用战场感知技术、作战信息智能处理技术,利用宽带传输技术、信息防护和网络技术,可以将作战单元和指挥机构联结成一个整体,使指挥员可以迅速从各方面传来的信息中快速得到重要战情,进行作战决策并下达作战命令,而单兵也可以从信息系统中获取当前战场态势信息,明确敌我双方位置、战况等。从接收到各方面信息、信息处理、指挥员进行作战决策到发出作战命令,只需要几分钟甚至几十秒,基本接近实时化;而决策依据是全方位的战情信息、智能处理结果和指挥员的判断。相对传统战争中的作战指挥而言,数字化部队作战指挥具有无与伦比的优越性。

2. 编制结构小型化、功能多样化

数字化部队作战单元小型化是它的一个显著特点。编制的小型化使得它具有机动灵活、反应快速、指挥灵便、战斗力强的特点。数字化部队综合使用通信兵、装甲兵、炮兵、机步兵、导弹兵、陆军航空兵和后勤支援与保障等分队,进行一体化联合作战,合成程度高,内部结构紧密合理、协同配合能力和综合作战能力很强。数字化部队作战改变了传统部队作战中依靠单一兵种作战、战情信息不全、指挥决策主观性强的局面,是具有独立作战能力的基本单位和火力单元,可以根据担负作战任务的性质、战场环境、作战规模、作战持续时间和指挥控制能力,灵活地改变作战力量体系,成建制地重新编组,组成新的作战集团,从而实现整体战斗力量的优化。数字化部队作战单元小型化、兵力集成化使得它的功能相对齐全,可以完成多种多样的作战任务,例如应对小规模军事危机、遏制大规模边境冲突,维持和平、进行人道主义救援、打击国际恐怖和犯罪等。数字化部队的这种编制,使得兵种界限变得模糊,作战更加灵活,能力更强。

3. 作战能力超强性

数字化部队和传统部队相比,具有更强的机动能力、协同作战能力、火力打击能力、战斗勤务保障能力、通信能力和信息处理能力,这使得它具有超强的作战能力。以美第4机步师为例:机动能力强,该师在战斗条件下一昼夜可机动150~200km,一次空中机动一个轻型机步

连,机动速度可达 200km/h;火力打击能力强大,压制火力每分钟可发射 288 发炮弹,多管火箭炮毁伤距离达 35km,能够提供大面积瞬时密集压制火力,空中反坦克火力能有效地打击 100km 纵深的装甲集团,地面反坦克火力具备一次攻击 800 个装甲目标的能力;情报与电子战能力强,可侦察监视 100~500km 距离内的目标,并进行昼夜搜索。编制的专用电子战直升机能够在作战纵深实施攻击干扰,具备很强的目标探测技术与精确制导技术相结合的实体摧毁能力,能够为师提供多路战术卫星通信终端服务,提供数据、图像和语音的保密通信,保障师的指挥、控制、情报、火力动摇和战斗勤务支援。防空能力强。装备的“复仇者”自行防空导弹具有全向攻击和“发射后不管”的能力,“阿帕奇”攻击直升机、“黑鹰”多用途直升机和“科曼奇”侦察与攻击直升机,装备有“毒刺”空空导弹,有一定的防空自卫能力。另外,各国都在研制敌我识别系统,一旦应用战场,战斗力将会大幅上升。

高技术条件下的局部战争,具有作战空间大、战场变化大、装备战损大和战争节奏快等特点。与之对应的装备维修保障呈现以下特点:

(1) 装备战损率高,物资消耗大,维修保障任务艰巨。

(2) 战争空间广阔,以非线式作战为主,装备维修保障方式多样化。

(3) 战争节奏快,部队机动频繁,装备维修保障的时效性要求强。

(4) 武器装备科学技术含量高,装备维修保障任务难度大。

(5) 武器装备数量众多,信息量大,而维修保障机构分散,组织管理难度大。

这些特点对装备维修保障带来的影响非常巨大。信息化战争中军事装备价格昂贵,战争消耗巨大。既要广泛运用以信息技术为核心的高技术手段,通过优势装备体系的对抗,极大地提高战争的军事效益,又要用最少的战争投入和战争损伤,减少己方战争消耗。如何实现最优规划理念,在很大程度上依赖信息化的军事保障,只有通过信息化途径使装备维修保障实时有效,才能确保作战效果最优化。信息化战争引发了装备维修保障工作的一系列变革,使得维修保障工作呈现出许多新的特点:

(1) 保障任务十分艰巨。作战样式的多样化,使装备维修保障愈

加复杂艰巨;装备系统的信息化,使装备维修保障难度加大;精确武器大量使用,对装备保障要求更高;战场装备损坏率高,抢救抢修的任务更加繁重;作战机动范围扩大,装备物资器材供应更困难等使得保障任务更加艰巨。

(2) 保障时效空前提高。信息化战争突出特点是快节奏、高速度,装备维修保障工作必须做到快速、及时、高效才能满足信息化战争的需要。

(3) 保障空间范围不断扩大。装备维修保障空间是指直接作战区域及相关区域从事与装备维修保障有关的活动范围的总称。由于信息化战争战场空间超大多维,范围广阔,与之相适应的装备维修保障的空间也随之扩展。

1.1.2 数字化部队作战对装备维修保障的要求

装备维修保障^[1],从广义上说,指为了完成作战任务而提供适用的武器技术装备,并保证处于战备完好状态。狭义上说,是为了发挥武器装备的战、技术性能而对其进行维护、维修、物质器材供应及其组织指挥等,即装备技术保障。它是装备保障的主体。

在未来高技术局部战争中,装备维修保障的地位和作用非常重要,装备器材呈现使用强度高、技术性强、损失和消耗的数量大、种类多等特点,装备维修保障任务十分繁重,保障程度对战争进程和结局有重大影响。我国边界线长,周边环境复杂,突发事件诱因多,应急机动作战纵深大。这使得装备应急保障能力对于取得战争主动权、应对突发事件至关重要。唐晋等在文献[2]中指出:现代战争特别是高技术条件下的局部战争,具有突发性强、目的明确、高强度和作战样式多样性的特点,对装备器材应急保障提出了许多新要求,主要体现在:

(1) 高技术条件下应急作战的突发性,加重了装备器材应急保障的起始负荷。现代高技术局部战争突发性强,作战时间短,战争中投入高科技武器装备多,由此装备器材保障装备的高科技含量也大幅提高,必然要求应急保障的维修勤务分队人员具有较高科技素质。

(2) 现代战争目的的有限性,决定了装备器材应急保障必须与快速反应部队的作战行动同步。现代战争的时效性,决定了装备器材应

急保障必须具有很高的快速反应能力。而战争目的的有限性,导致战争在特定的时间和空间内进行,要求装备器材应急保障体系必须实现立体化。

(3) 现代战争的高强度性,要求装备器材应急保障必须做到快速高效、功能综合。现代战争的破坏性大、毁灭性强,要求装备器材应急保障必须快速高效。而现代战争是各军兵种协同作战,必然要求具有很强的综合保障能力。

(4) 现代战争的多样性,要求装备器材应急保障必须具有很强的反应能力和保障弹性。

1.1.3 新时期装备维修保障存在的问题

信息化战争对装备维修保障能力提出了更高更新的要求。而今装备维修管理方面存在诸多的难题和不足,各种维修任务和资源的计划管理都靠经验,效率低,已不适应信息化战争的需要。主要表现为:

(1) 维修任务的繁重性和维修资源的有限性之间的矛盾,对维修任务管理的合理性提出了高要求。信息化战争维修任务重。武器装备集成了最新的科学技术,性能越来越先进,技术越来越复杂,大多数装备是技术含量很高的电子装备,敏感性极高,在战争中又是敌方首先打击和摧毁的目标,而且部分元器件的损坏有可能导致装备完全丧失作战能力,因此战损率高。同时装备在使用中故障发生的概率也明显提高,尤其在恶劣环境中作战的武器装备更易发生故障,维修任务增加,而维修资源有限。装备维修资源包括维修备件、维修人员、维修设施设备、维修技术资料等,是实施装备维修保障不可缺少的基础,由于疲劳、战伤、器材消耗等因素的影响,维修机构(小组)的维修能力非常有限,通常采取一系列方法来提高维修能力,这些方法包括加班加点、调度资源等。最常见的方法是加班加点,虽然这种方法可以在现有的资源情况下提高资源的使用效率,但是人员长时间处于超负荷工作状态将导致维修效率的降低。信息化战争作战地域广,调度资源也存在很大困难,难以全面兼顾,只能保障重点。因此在现有的保障资源下合理地、科学地安排维修活动,快速完成维修任务是实现作战保障的关键。

(2) 维修任务和维修资源协同管理已成为难点。信息化战争中,

参战军兵种多,战场地域广,作战强度大,情况变化快,装备维修保障力量的组成和内外关系更加复杂,应实行集中统一的装备维修保障指挥,才能充分发挥装备维修保障力量的整体效能,使有限分散的装备维修保障力量聚合形成保障优势,同时要求装备维修保障指挥机构必须加强保障系统内部的协调,确保各军兵种、各专业之间密切配合,协调一致地完成装备维修任务。因此,维修保障不只是保障一个专业、一台装备、一支部队、一个维修机构(修理分队)的任务完成,而是多个作战单元、多个专业、多台故障装备,多级(个)维修机构(修理分队)区域协同保障,要求各保障要素紧密配合、资源共享、协同维修。

另一方面维修任务和资源的动态性为维修工作也带来了难度。战场维修环境的不断变化,维修过程中会遇到各种各样的随机干扰,如维修任务的不确定性,维修能力的变化(如机器故障、人员伤亡、备件消耗与补充等),维修时间的改变等都为装备维修管理优化带来难度。

(3) 维修调度方面没有成熟有效的优化体系。目前各国军队采用三级维修体系,分为基地级维修机构、中继级修理机构和基层级修理机构,维修保障的指挥管理主要依靠战前预测、战时机动保障,尚没有一个科学的优化调度系统,调度指挥存在随机性,属经验型管理模式。从实际情况来看,传统的装备维修管理不能够满足高技术条件下作战的要求,许多学者在维修调度方面进行了一些研究,取得了一些成果,但还没有形成一套比较成熟有效的优化体系。

为了赢得未来战争的胜利,装备维修保障需要解决以下问题:

(1) 作战强度高,装备器材消耗大,但维修保障水平与此不适应。高技术条件下的作战,首先是投入的兵力、兵器快速集中,参战武器装备的种类多、射速快、火力猛,弹药品种、型号多,消耗量大,保障难度明显增大。目前装备维修保障力量机械化、自动化作业水平还不高,运输手段有待进一步完善,暂时难以完全满足高强度作战对装备维修保障的要求。

(2) 作战节奏快,装备损耗率高,但军械技术保障水平较低。高技术条件下作战部队将面临高精度、远距离、高毁伤的火力战,武器装备的战损将成倍增加,而装备的技术含量越来越高,致使装备的抢修任务繁重;战场态势变化急剧,保障时间缩短,受敌威胁加大,军械技术保障

任务艰巨。但军械应急保障部队中一般受人才、装备、检测手段等因素影响,不能完全、及时、准确、高效地抢修军械装备,特别是一些高、精、尖武器装备,问题显得更加突出。

(3) 战场透明度高,维修保障力量自身安全受敌严重威胁,而装备维修保障力量自身防卫能力较低。由于大量先进电子侦察技术和精确制导武器应用于现代战争,传统的隐蔽、伪装效果降低,战场透明度明显提高。与此同时,现代战争,敌对双方都千方百计地破坏对方的后勤目标和运输线,瘫痪其综合保障能力。对方将使用精度高、射速快、机动性能好、杀伤力大的高技术武器摧毁综合保障力量。由于目前综合保障力量的反电子侦察技术、隐蔽隐身技术、加密技术、自身抗打击及反击能力等还不能完全满足高技术条件下自身生存、防卫的要求,因而需要研究行之有效的的手段降低面临的威胁。

王洪光等人指出,装备维修保障还需要解决以下问题:

(1) 装备维修保障理论滞后于装备保障建设,需要加强装备维修保障理论体系研究。

(2) 装备保障体制还不完善,滞后于新装备要求。新装备的显著特点是“机、光、电、夜、软”一体化,而装备保障体制不健全,制约了新装备战斗力的形成与发挥,需要加快完善装备维修体制。

(3) 装备保障力量自身的科技含量不高,滞后于高技术装备的发展,迫切需要提高装备维修力量的素质。

在这些背景下,运用现代科学管理方法和手段,对装备维修保障活动进行精确和有效的预测、计划、组织、协调和控制,在满足军队作战和完成装备维修任务的同时,最大限度地减少保障人力、物力、财力的投入,以获得最大的军事经济效益,是信息化战争对装备维修保障的基本要求,也是提高装备维修保障能力和水平的重要环节,因此如何制定一个维修任务调度方案,合理安排维修任务,科学分配维修资源,对提高维修保障水平至关重要。

对此,需要全面开展装备维修保障理论研究,并做好相关软、硬件建设工作。在理论研究方面,需要研究以下问题:

(1) 备件消耗预测问题。对平时、战时备件消耗量进行预测,做好物资准备,尤其是结合装备上故障部件可修复、不可修复的情况分别进

行研究,探索备件消耗规律。

(2) 备件存储问题。对备件存储模式、存储策略进行研究,减少库存积压,降低存储成本。对仓库设置方式、设置位置进行研究,提高保障效率。有时备件存储问题还需要考虑备件制造厂家的生产能力,尤其是厂家可生产多种备件的情况。

(3) 备件携行与配置问题。战时运输力量有限,在有限运力条件下研究备件携行量问题,提高备件保障率。如果维修保障人员有限,考虑到战时武器装备作战功能需求时限性强的特点,还需要综合考虑各方面情况,研究维修能力有限情况下的备件配置问题。

(4) 预防性维修问题。在平时武器装备使用过程中,做好装备的维护保养工作,根据装备使用情况科学地组织维修,既可以节约经费,又可提高训练效益。

(5) 维修任务调度问题。为了适应战场瞬息万变的情况,科学组织维修力量对武器装备进行抢修,尽快恢复武器装备的战斗力,是装备维修保障理论研究的一项重要课题。维修调度是维修保障工作五个组成部分中极其重要的一个部分,通过优化维修任务调度,能有效提高装备维修资源的使用效率,尤其在战时能够大大缩短武器装备的平均等待时间,在较短时间内恢复装备的战斗力,为战争赢得主动权。因此,对现有维修资源条件下多个作战单元的维修任务优化调度研究,能充分提高对维修资源的使用率,优化维修任务调度方案,对提高装备维修保障能力并尽快恢复作战单元战斗力,具有重要的意义,为装备保障指挥决策提供科学的技术支持。

(6) 维修保障能力评估问题。装备维修保障能力评估是装备维修保障建设管理中的关键问题之一,直接引领装备维修保障发展的方向。维修保障能力评估包括维修人员维修能力评估、维修机构保障能力评估和备件仓库保障能力评估等内容。

1.2 研究现状

装备维修保障是指为保持或恢复武器系统的良好技术状态所进行的一系列管理与技术活动过程,是保证武器系统作战效能充分发挥的