



国防科技图书出版基金



The Modeling Theory and Method of
Equipment Maintenance Support System

装备维修保障系统 建模理论与方法

■ 张柳 于永利 聂成龙 李雪红 金伟 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

013024757

E237

13

装备维修保障系统建模 理论与方法

The Modeling Theory and Method of
Equipment Maintenance Support System

张柳 于永利 聂成龙 李雪红 金伟 编著



国防工业出版社



北航

C1632225

E237
13

图书在版编目(CIP)数据

装备维修保障系统建模理论与方法 / 张柳等编著.

—北京: 国防工业出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-118-08408-5

I. ①装… II. ①张… III. ①武器装备—维修—军
需保障—系统建模—研究 IV. ①E237

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 272542 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)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 8 $\frac{3}{4}$ 字数 175 千字

2012 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 46.00 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

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作

需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第六届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 宋家树 蔡 镭 程洪彬

秘书长 程洪彬

副秘书长 邢海鹰 贺 明

委 员 于景元 才鸿年 马伟明 王小谟

(按姓氏笔画排序) 甘茂治 甘晓华 卢秉恒 邬江兴

刘世参 芮筱亭 李言荣 李德仁

李德毅 杨 伟 肖志力 吴有生

吴宏鑫 何新贵 张信威 陈良惠

陈冀胜 周一宇 赵万生 赵凤起

崔尔杰 韩祖南 傅惠民 魏炳波

前 言

装备维修保障系统是由多项维修保障要素(如组织机构、规章制度、人员与训练、物质资源、技术资源等)相互作用构成的一个复杂系统。在现代战争中,随着武器装备的日益复杂和先进技术的应用,装备维修保障系统的地位显得越发重要,其规模也日益庞大。对于这样一个复杂的系统,想要了解它、认清它,并去控制与优化它,是件非常困难的事情。而系统科学的发展为我们认识装备维修保障系统提供了方法和手段——抽象与建模。

装备维修保障系统建模,就是运用系统建模的知识、已有的模型和模型表达语言,建立全部或部分的装备维修保障系统模型的过程。当然,它要求建模人员既要掌握系统建模方法,还要了解装备维修保障系统的运行,具有一定的建模经验。目前,装备维修保障系统建模已成为我们认识和研究装备维修保障系统、优化和持续提升装备维修保障系统能力的最根本的行为。

随着装备维修保障系统建模的研究越来越多,所要解决的系统问题千差万别,各种装备维修保障系统模型如雨后春笋般地大量涌现,同时也出现了模型水平参差不齐、模型内容交叉重叠、模型认可度较低、模型有效性难以检验等现象。因此,急需一种建模体系架构,能够将现有的各种类型的模型有序地组织起来、规范起来,从而提供装备维修保障系统模型体系的全貌,为装备维修保障系统建模研究的可持续发展提供依据。这是一项需集众智的研究工作,作者愿为该项工作出份力。因此作者在总结相关科研成果的基础上,突出了模型构架的问题,希望所抛出的一块“砖”,能引出更多的“玉”。

本书在现有系统建模理论与方法的基础上,构建了装备维修保障系统的建模理论与方法,并从功能、过程、资源、组织和信息的角度全面介绍了装备维修保障系统相应视图模型的建模方法、模型与实例。提出了基于模糊评判、基于 BP 神经网络和基于仿真的装备维修保障能力定量评价模型,给出了算法与实例。至此,本书完整地提供了装备维修保障系统的定性逻辑模型与定量评价模型。

本书既可以为从事装备维修保障系统建模理论与方法的研究人员与工程人员提供进一步深入研究的基础资料,还可以作为装备保障工程领域的研究生学

习装备维修保障系统建模理论与方法的教材使用。

本书的第3章~第6章由张柳编写,第2章、第7章由于永利编写,第8章、第9章由金伟、李雪红编写,第1章由聂成龙编写。张柳负责统稿。博士研究生杨英杰负责校对。装备维修保障系统建模理论与方法尚处于快速发展阶段,由于作者水平有限,书中难免存在缺点错误,殷切期望广大读者批评指正。

编著者

2012. 3. 26

目 录

第 1 章 装备维修保障系统概述	1
1.1 装备维修保障系统的定义	1
1.2 装备维修保障系统的特性	2
1.3 装备维修保障系统的功能	5
1.4 装备维修保障系统的组成	5
1.5 装备维修保障系统的运行模式	6
1.6 装备维修保障系统的建模需求	8
1.7 国内外装备维修保障建模研究现状	8
第 2 章 装备维修保障系统建模总论	14
2.1 装备维修保障系统模型的概念	14
2.2 装备维修保障系统的建模原则	15
2.3 装备维修保障系统的建模过程	16
2.4 装备维修保障系统的建模方法	17
2.5 装备维修保障系统的定性建模体系	18
2.6 装备维修保障系统的定量评价体系	23
第 3 章 装备维修保障系统功能建模	32
3.1 概述	32
3.2 功能建模方法	32
3.3 装备维修保障系统功能模型	35
第 4 章 装备维修保障系统资源建模	51
4.1 概述	51
4.2 资源建模方法	52
4.3 装备维修保障系统资源模型	56
第 5 章 装备维修保障系统组织与信息建模	63
5.1 概述	63
5.2 组织建模方法	64
5.3 装备维修保障系统组织模型	67
5.4 信息建模方法	70
5.5 装备维修保障系统信息模型	72

第 6 章 装备维修保障系统过程建模	77
6.1 概述	77
6.2 过程建模方法	77
6.3 装备维修保障系统过程模型	81
6.4 装备维修保障系统过程模型的标准库	88
第 7 章 基于模糊评价的装备维修保障能力建模	90
7.1 模糊综合评价方法的基本思想	90
7.2 装备维修保障能力评价指标体系及量化处理	93
7.3 基于多层次模糊综合评价方法的装备维修保障能力模型	96
第 8 章 基于神经网络的装备维修保障能力建模	101
8.1 神经网络方法的基本思想	101
8.2 基于 BP 网络的装备维修保障能力评估的分析与设计	103
8.3 基于 BP 网络装备维修保障能力评估的 Matlab 实现	104
8.4 基于 BP 神经网络的装备维修保障能力评价模型	105
第 9 章 基于仿真的装备维修保障能力建模	110
9.1 仿真评估方法与仿真框架	110
9.2 任务完成时间仿真模型	112
9.3 任务完成概率仿真模型	122
9.4 装备维修保障能力仿真示例	124
参考文献	127

Contents

Chapter 1	Summary of Equipment Maintenance Support System	1
1.1	Definition of Equipment Maintenance Support System	1
1.2	Characteristic of Equipment Maintenance Support System	2
1.3	Function of Equipment Maintenance Support System	5
1.4	Component of Equipment Maintenance Support System	5
1.5	Operation Mode of Equipment Maintenance Support System	6
1.6	Modeling Requirements of Equipment Maintenance Support System	8
1.7	Research Literature Review	8
Chapter 2	Modeling Pandect of Equipment Maintenance Support System Modeling	14
2.1	Definition of Equipment Maintenance Support System Model	14
2.2	Modeling Principle of Equipment Maintenance Support System	15
2.3	Modeling Process of Equipment Maintenance Support System	16
2.4	Modeling Method of Equipment Maintenance Support System	17
2.5	Qualitative Modeling Architecture of Equipment Maintenance Support System	18
2.6	Quantificational Evaluation Architecture of Equipment Maintenance Support System	23
Chapter 3	Function Model of Equipment Maintenance Support System	32
3.1	Summary	32
3.2	Method of Function Modeling	32
3.3	Function Model of Equipment Maintenance Support System	35
Chapter 4	Resource Model of Equipment Maintenance Support System	51
4.1	Summary	51
4.2	Method of Resource Modeling	52
4.3	Resource Model of Equipment Maintenance Support System	56

Chapter 5	Organization and Information Model of Equipment Maintenance Support System	63
5.1	Summary	63
5.2	Method of Organization Modeling	64
5.3	Organization Model of Equipment Maintenance Support System	67
5.4	Method of Information Modeling	70
5.5	Information Model of Equipment Maintenance Support System	72
Chapter 6	Process Model of Equipment Maintenance Support System	77
6.1	Summary	77
6.2	Method of Process Modeling	77
6.3	Process Model of Equipment Maintenance Support System	81
6.4	Process Model Standard Library of Equipment Maintenance Support System	88
Chapter 7	Equipment Maintenance Support Ability Model Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation	90
7.1	Basic Ideology of Fuzzy Comprehensive Evaluation	90
7.2	Index System and Quantization Process of Equipment Maintenance Support Ability Evaluation	93
7.3	Equipment Maintenance Support Ability Model Based on Multi-level Fuzzy Comprehensive Evaluation	96
Chapter 8	Equipment Maintenance Support Ability Evaluation Model Based on Neural Network	101
8.1	Basic Ideology of Neural Network	101
8.2	Analysis and Design of Equipment Maintenance Support Ability Evaluation Model Based on Neural Network	103
8.3	Matlab Implementation of Equipment Maintenance Support Ability Evaluation Model Based on Neural Network	104
8.4	Equipment Maintenance Support Ability Evaluation Model Based on Neural Network	105
Chapter 9	Equipment Maintenance Support Ability Evaluation Model Based on Simulation	110
9.1	Evaluation Methods of Simulation and Framework of Simulation	110
9.2	Simulation Model of Mission Completion Time	112
9.3	Simulation Model of Mission Completion Probability	122
9.4	Evaluation Example	124
Reference		127

第1章 装备维修保障系统概述

1.1 装备维修保障系统的定义

装备维修保障系统是由各种与装备的维修及其资源保障相关的要素所构成的一个有机整体,是装备保障系统的重要组成部分。一般包括维修物质资源、维修人力资源、维修信息资源、维修组织机构和维修制度等内容。其中,维修物质资源主要指装备实施维修所需消耗、补充的各种资源(如备件、原材料、擦拭材料等)以及所需使用的工具、设备、设施和计算机资源等。维修人力资源主要指实施装备维修保障的各种人员的数量与技术等级。维修信息资源主要指实施装备维修保障所需的以手册、规范、指南、图纸及软件等形式记录的各种信息。维修组织机构主要指与装备维修管理、执行相关的机构的设置。维修制度主要指与装备维修工作有关的管理规定。

装备维修保障系统的主要任务是建立和完善适应军事斗争和装备发展需要的维修管理体系与保障力量,采用科学的方法和先进的技术,对装备实施有效地监控、维护、修理和技术管理,保持装备良好的技术状态,保障军队作战、训练和其他各项任务的顺利完成。

装备维修保障系统所保障的对象是部队建制内的各种武器装备。武器装备的种类与数量不同,则维修保障系统组成要素的种类和数量也不同,其保障规模也会产生差异。例如,一个导弹旅和一个高炮旅的维修保障系统的组成要素的种类和数量有着明显差异。一个导弹旅和一个导弹营的维修保障系统在保障规模上又有着明显不同。一般而言,部队建制内层次高的作战单位(如集团军)的维修保障系统要比层次低的作战单位(如旅)的维修保障系统的规模要大,所包含的维修保障资源的品种、数量也要多一些。

新装备部署部队后,会按照部队的编成方式配属于某一层次的作战单位,其对应的装备维修保障系统也会配属于部队现行的保障体制当中,成为部队整个装备维修保障系统的一个组成部分,称为装备维修保障子系统。一般说来,装备维修保障系统包含多个装备维修保障子系统,各子系统之间存在一定的逻辑关系。通常,装备维修保障子系统是与部队的作战单位相对应的。

图1-1所示为装备维修保障系统与作战单位的关系示意图。其中,图中每一块深色部分表示的都是一个对应某一层作战单位的维修保障子系统,这些

维修保障子系统共同构成了整个装备维修保障系统。

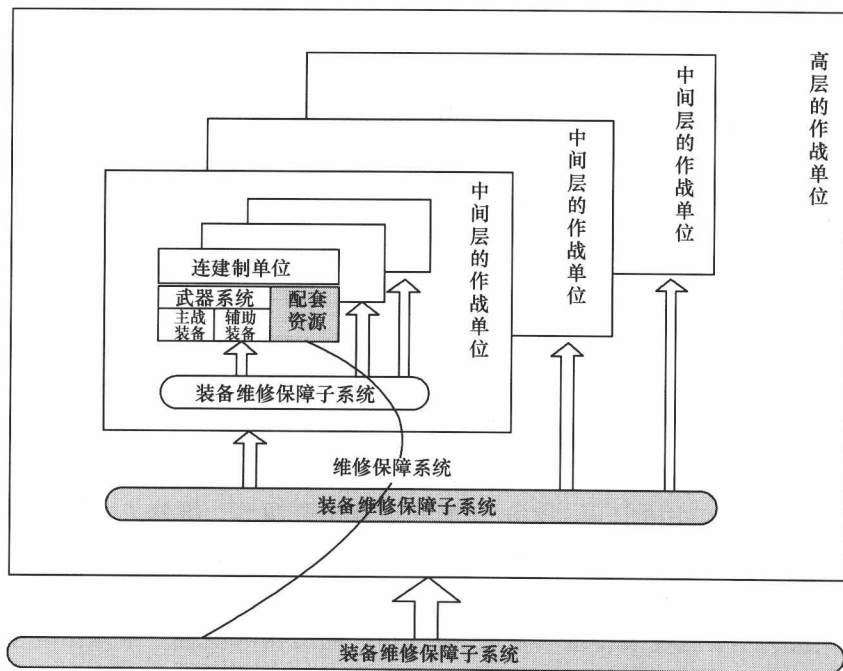


图 1-1 装备维修保障系统与各层作战单位的关系示意图

1.2 装备维修保障系统的特性

装备维修保障系统作为一个系统来说,具有一般系统所拥有的多种特性,如目的性、整体性、层次性、环境适应性、相关性、集合性等。下面主要针对前 4 个方面的特性进行阐述。

1. 目的性

从系统的观点看,任何人造系统的存在都具有一定的目的。装备维修保障系统的存在,就是为满足装备维修保障的需要,充分发挥装备的战技性能而产生的。在装备日益复杂的发展趋势下,装备维修保障系统的出现成为必然。

虽然装备维修保障系统是为维护装备性能而存在的,但是如果装备维修保障系统的规模过于臃肿或庞大,效果发挥不佳,反而会成为战争中的负担。因此,精益、灵巧的装备维修保障系统才是部队的真正需要。信息化技术在军事领域的推广应用,使得战场信息高度透明化。装备的各种维修需求信息能够及时地反馈给装备维修保障系统,而装备维修保障系统也可以针对装备的各种维修需求提供精确化的保障。亦即,在合适的时间、合适的地点,使用合适的维修保障力量,为真正需要的部队装备提供最恰当的服务,这才是装备维修保障系统的

最终目标。

2. 整体性

装备维修保障系统是由众多维修保障要素所构成,但并不是这些维修保障要素的简单集合,而是把这些维修保障要素按照某种方式组合,形成的一个有机整体,从而使得装备维修保障系统具有所属组成部分没有的特性。

例如,根据维修的深度、难度和地点的不同,装备的平时维修一般分为三级,即基地级、中继级和基层级,每个级别所承担的维修任务是不同的。对装备维修保障系统而言,每一个级别都是它的一个组成部分。从功能上讲,每个级别都具有一定的维修能力,但是只能够完成装备的一部分维修任务。而整个装备维修保障系统具有的维修能力,可以完成装备的所有维修任务。所以说,某个级别的装备维修保障子系统并不具备整个装备维修保障系统的全部维修功能,即整体表现出其组分所没有的特性。

3. 层次性

装备维修保障系统所保障的对象是建制内各类武器装备所构成的作战单位。在平时和战时的部队建制中,作战单位是按照一定的层次进行配置和部署的,在一段时期内具有相对稳定的层次关系。为了实现有效的保障,装备维修保障系统一般会按照作战单位的层次分别进行部署。两者的关系如图1-2所示。

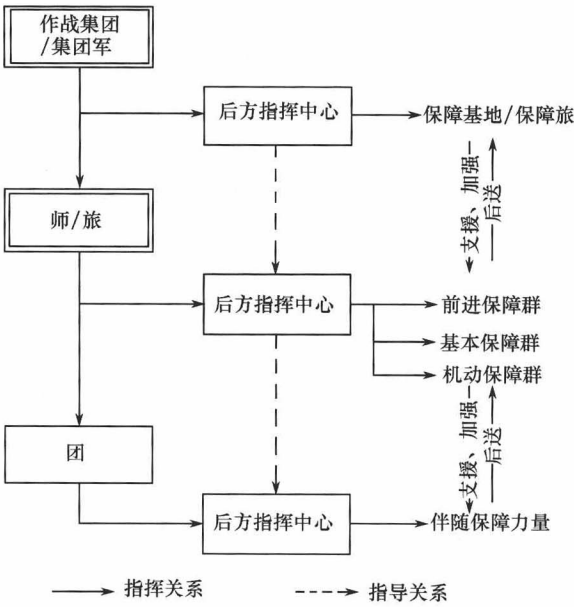


图 1-2 战时装备维修保障系统的层次示意图

以旅保障群为例,其结构组成如图 1-3 所示。

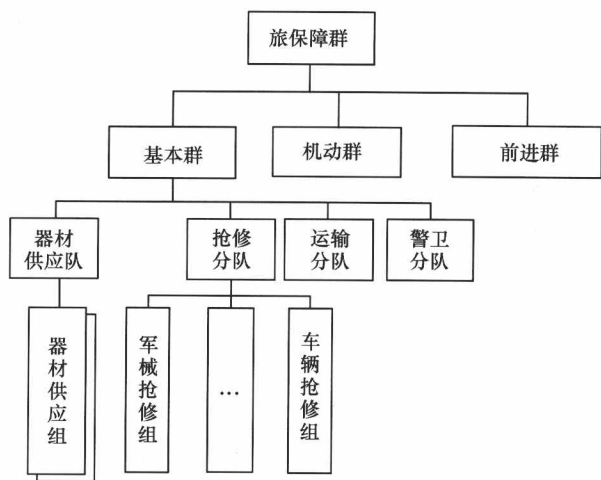


图 1-3 旅保障群的层次结构示意图

4. 环境适应性

按照系统的观点,任何系统都是在一定的环境中产生,又在一定的环境中发展的,系统与环境之间有明确的界限。如果把维修保障系统所保障的武器装备所构成的系统称为保障对象系统,则在实际的作战或训练使用中,装备使用任务驱动保障对象系统的使用(即任务的样式决定了参战装备的类型)。保障对象系统在执行任务的过程中状态发生变化,产生维修保障需求,从而牵动装备维修保障系统的运行。而维修保障系统的运行效果反过来影响保障对象系统的状态,从而影响到任务系统的完成状态。从三者之间的相互作用看,装备使用任务和保障对象系统就是装备维修保障系统最为重要的外部环境。

装备维修保障系统与环境之间的关系如图 1-4 所示。但在环境发生变化时,如装备使用任务发生了变化,或者武器装备的类型、性能等发生变化,则装备维修保障系统的组成、运行等均要及时作相应的调整,确保装备使用任务、保障对象系统和维修保障系统之间达成最佳匹配。只有如此,维修保障系统的作用才能真正的发挥,系统的目标才能实现。

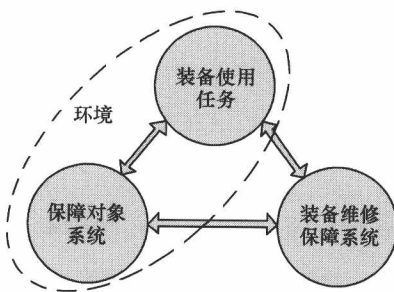


图 1-4 装备维修保障系统与环境之间的关系示意图

1.3 装备维修保障系统的功能

装备维修保障系统的功能可从其业务工作反映出来,主要包括6个方面,即计划与经费管理功能、维护与修理功能、器材保障功能、设备与设施建设功能、科研与训练管理功能、战时维修保障功能等。

(1) 计划与经费管理功能主要是围绕装备维修的长远规划和年度计划的制定以及相应的经费预算开展的活动。装备维修年度计划包括装备的大修、中修、小修、维修器材购置、维修设备购置和其他相关项目及其经费等内容。

(2) 维护与修理功能指的是使装备保持或恢复到规定的性能所进行的技术活动,如装备的预防性维修和修复性维修等活动。

(3) 器材保障功能主要是围绕器材的计划、筹措、储存、供应、储备和管理及组织实施而展开的一系列活动,以保障部队装备平时维修和战时维修的需要。

(4) 设备与设施建设功能是围绕设施建设的规划、组织与实施,对设备的技术改造、补充、更新等开展的一系列活动。

(5) 科研与训练管理功能是围绕探索维修保障的规律、特点、理论和方法,改革其体制、制度、方式和手段,推广新技术的应用;培训维修保障的专业人员;建立和完善装备维修标准体系等开展的相关活动。

(6) 战时维修保障功能是围绕战时装备维修保障方案制定、战时装备维修保障指挥、战时维修装备保障力量建设等开展的活动。

1.4 装备维修保障系统的组成

平时,我军的装备维修保障系统一般分为基地级、中继级和基层级三级作业体系,维修保障工作分别由总部、军区和部队所属的修理工厂、修理分队、仓储机构和使用单位按照分工组织实施。在每一个维修级别上,都有相应的管理/指挥机构和维修保障执行机构。维修级别不同,则维修机构的能力也不同。维修级别的层次越高,维修能力越强,所配备的维修人员、维修保障设备、工具等也越多越强。

其中,维修保障执行机构还可以按照某种方式逐层细分,直至最小单位的执行机构,如维修组、器材组等。这些最小单位的执行机构是维修保障系统中的最小组织单元。从组织结构的角度看,最小组织单元不可以再分解了。如果还要继续对这些最小组织单元进行研究的话,则转为对其配属的设备、工具、人员和设施等各类维修资源的分析。换句话说,维修保障系统的组织结构在最底层可以与资源紧密关联起来。由此,可以给出维修保障系统的一般结构,如图1-5所示。