

Research on Modeling of
Equipment Supporting Supported
by Space Information

天基信息支援下 装备保障建模研究

张汉锋 卢昱 陈立云 著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

· 014907342

E144
33

天基信息支援下装备 保障建模研究

Research on Modeling of Equipment
Supporting Supported by Space Information

张汉锋 卢昱 陈立云 著



国防工业出版社



北航

C1694225

E144
33

S28700910 .

图书在版编目(CIP)数据

天基信息支援下装备保障建模研究/张汉锋, 卢昱, 陈立云著.

—北京: 国防工业出版社, 2014.1

ISBN 978-7-118-09100-7

I. ①天… II. ①张… ②卢… ③陈… III. ①武器装备—
后勤保障—系统建模—研究 IV. ①E144

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 242518 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 6% 字数 165 千字

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 59.00 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

在最近几场局部战争中,以美国为首的多国部队通过卫星的侦察、监视、预警、通信、导航和定位等,对陆、海、空作战提供支援,使天基力量在战争中表现出非凡的功效。太空将成为未来战争新的制高点,成为敌对双方较量的新焦点,谁控制了太空,夺取了制天权,谁就可以居高临下控制其他战场,掌握战略主动权。

装备保障对各种信息的依赖作用越来越强,以卫星为主组成的空间信息系统拥有得天独厚的地理优势,可以通过侦察、监视、通信、导航和定位等功能,大范围、长时间对装备保障战场提供信息支援保障。因此,提高天基信息支援能力是夺取装备保障“信息优势”,提高信息化装备保障能力的必然选择。

本书首先分析了天基信息支援系统要素、结构和功能,提出了天基信息支援系统逐级和越级两种支援机理,揭示了天基信息支援系统在装备保障指挥、装备抢救、装备抢修、器材供应和弹药补给等活动中的支援作用。

其次,依据“统一表达、需求复用”的建模思路,提出用基于本体和 UML 的方法,建立天基信息支援下装备保障实体模型,规范了天基信息支援下装备保障实体描述方式。建立了天基信息支援下装备保障实体本体、任务本体、资源本体和信息本体,构建语义模型,提出了建模算法,并用 UML 对本体模型进行描述;以天基信息支援下机步师装备保障系统为案例,详细阐明了天基信息支援下装备保障实体建模的方法和过程。

再次，依据“逐步求精、逐步抽象”的建模思路，提出用有色 Petri 网方法，建立天基信息支援下装备保障活动模型，揭示了天基信息支援下装备保障活动运行机理。运用逐步求精的思路，先后建立了天基信息支援下装备保障轮廓、装备保障指挥、装备抢救、前出修理、定点修理、伴随修理、器材供应、弹药供应和装备保障细化模型；运用逐步抽象的思路，先建立一般 Petri 网模型，再抽象出简单颜色 Petri 网模型，最后抽象出有色 Petri 网模型。

最后，提出用基于领域模型库的装备保障仿真建模方法，建立基于 ExSpect 的仿真模型，分析了天基信息支援下装备保障活动效果；按照“结合反馈、挖掘机理”的建模思路，提出用影响图建模方法，建立了天基信息支援系统性能改善对装备保障产生影响的效果模型，阐明了天基信息改善装备保障效能的系统动力学原理。

本书参考了国内外许多学者的论著，吸收了同行们的辛勤劳动成果，我们从中得到了很多教益和启发，在此谨向各位同行和专家表示衷心的感谢！

作者

2013 年 7 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 天基信息支援下装备保障的研究背景	1
1.2 天基信息支援下装备保障的研究目的与意义	2
1.2.1 研究目的	2
1.2.2 研究意义	2
1.3 相关概念	4
1.4 相关领域研究状况	11
1.4.1 建模理论研究	11
1.4.2 装备保障理论研究	14
1.4.3 天基信息支援系统研究	25
1.4.4 天基信息支援作战研究	36
1.4.5 天基信息支援装备保障研究	38
1.4.6 分析与总结	39
1.5 天基信息支援下装备保障的研究思路与内容	41
1.5.1 研究思路	41
1.5.2 研究内容	42
1.6 本章小结	43
第2章 天基信息支援下装备保障系统建模需求分析	45
2.1 天基信息支援系统分析	45
2.1.1 天基信息支援系统要素	45
2.1.2 天基信息支援系统结构	46
2.1.3 天基信息支援系统功能	49
2.2 天基信息支援系统支援机理	50
2.2.1 天基信息支援系统逐级支援机理	51

2.2.2	天基信息支援系统越级支援机理	51
2.3	天基信息支援系统支援作用分析	54
2.3.1	侦察监视卫星的信息支援作用	54
2.3.2	导航定位卫星的信息支援作用	56
2.3.3	通信卫星的信息支援作用	57
2.4	天基信息支援下的装备保障系统建模内容	58
2.4.1	天基信息支援下的装备保障系统实体建模	59
2.4.2	天基信息支援下的装备保障活动建模	60
2.4.3	天基信息支援下的装备保障效果分析	60
2.5	本章小结	62
第3章	天基信息支援下的装备保障系统实体建模	63
3.1	天基信息支援下的装备保障系统实体分析	63
3.1.1	天基信息支援系统实体	64
3.1.2	战时装备保障系统实体	65
3.1.3	天基与装备保障实体的信息交互	66
3.2	天基信息支援下装备保障系统实体建模方法	70
3.2.1	基本思路	70
3.2.2	基本约定	72
3.2.3	本体元模型	77
3.2.4	语义模型	86
3.2.5	建模算法	89
3.3	天基信息支援下装备保障系统实体建模举例	91
3.4	本章小结	97
第4章	天基信息支援下的装备保障活动建模	98
4.1	天基信息支援下的装备保障活动分析	98
4.1.1	装备指挥流程活动分析	98
4.1.2	装备抢救流程活动分析	99
4.1.3	装备抢修流程活动分析	101
4.1.4	装备物资供应流程活动分析	110

4.2	天基信息支援下的装备保障活动建模方法	112
4.2.1	基本思路	112
4.2.2	基本约定	113
4.2.3	语义语法	117
4.3	天基信息支援下装备保障轮廓模型	120
4.3.1	装备指挥模型	126
4.3.2	装备抢救模型	128
4.3.3	装备抢修模型	131
4.3.4	器材供应模型	139
4.3.5	弹药供应模型	142
4.4	天基信息支援下装备保障细化模型	144
4.5	本章小结	150
第5章	天基信息支援下的装备保障效果分析	151
5.1	天基信息支援下的装备保障活动效果分析	151
5.1.1	仿真语言及软件工具	152
5.1.2	天基信息支援下装备保障活动模型库构建	155
5.1.3	保障效果的仿真及结果分析	160
5.2	天基信息支援系统性能改善对保障效果影响	163
5.2.1	系统指标体系建立	164
5.2.2	效果影响建模方法	170
5.2.3	效果影响建模过程	177
5.2.4	效果影响对比分析	185
5.3	本章小结	189
第6章	总结与展望	191
6.1	内容总结	191
6.2	研究展望	192
参考文献		193

第1章 绪 论

1.1 天基信息支援下装备保障的研究背景

20 世纪中后期以来,信息技术的飞速发展及其在军事领域的广泛应用,引发了一场世界范围的军事变革。在新军事变革的强劲推动下,军事领域正在发生着深刻的变化,战争形态正由机械化战争向信息化战争转变,军队建设正由机械化军队向信息化军队转型^[1-3]。

信息化战争的战场已从陆、海、空进一步延伸到外层空间。随着科学技术特别是信息技术的迅速发展,空间力量正成为一支重要的战略力量,并为各国竞相优先发展^[4-16]。以卫星为主组成的空间信息系统拥有得天独厚的地理优势,且不受国界的限制,可以全天候、不间断地为作战提供情报侦察、信息传递、导航定位、预警探测、环境监视和气象服务等多项功能^[17-21]。

孙子曰:“善攻者,动于九天之上。”新的作战空间,拓展新的竞争领域;新的作战手段催生新的战争样式;新的作战方式,呼唤新的军事理论。当新一轮更高起点、更广范围的战略竞争来临的时候,特别需要深刻的理性的思考。从最近的几场局部战争中我们不难看出,装备保障对各种信息的依赖作用越来越强,而太空是战争中获取情报、进行控制的前沿,有着制高点的作用。因此,提高天基信息支援能力是夺取装备保障“信息优势”,提高信息化装备保障能力的必然选择。

基于上述认识和理解,在陆军部队转型和信息化建设的大背景

下,在总装备部通用装备保障部科研计划项目“装备保障信息网络体系研究”和“国家高新技术研究发展计划(863计划)”创新基金课题“基于空间信息网络的战斗力生成模式研究方案”等多项重大课题研究的基础上,在相关理论支撑和广泛调研、充分论证的前提下,提出了“天基信息支援下装备保障建模研究”这一课题,从理论研究和实际运用相结合的角度探讨天基信息支援下装备保障问题。

1.2 天基信息支援下装备保障的研究目的与意义

1.2.1 研究目的

本书针对信息化作战装备保障的迫切需求,对天基信息支援下装备保障系统建模进行了需求分析,建立了天基信息支援下装备保障系统实体模型、天基信息支援下装备保障活动模型和天基信息支援下装备保障效果模型。主要目的在于规范天基信息支援下装备保障系统实体分析和描述方法,探讨天基信息支援下装备保障活动运行情况,揭示天基信息改善装备保障效能的系统动力学原理,为未来信息化作战装备保障系统充分利用天基信息支援,获取“信息优势”,进行相关理论准备。

1.2.2 研究意义

1. 理论意义

1) 发展装备保障建模理论与方法

本书运用基于本体和 UML (Unified Modeling Language, 统一建模语言) 系统建模理论与方法、基于有色 Petri 网的活动流程建模方法和基于影响图理论的效果建模方法,建立了天基信息支援下装备

保障系统实体模型、活动模型和效果模型,可以更加清晰地认识和深刻地理解装备保障系统的实体、活动运行过程和天基信息改善装备保障效能的系统动力学原理,丰富和发展了现有装备保障建模的理论与方法,进一步开阔了视野,拓展了思路。

2) 促进天基信息支援理论的发展

天基信息支援是空间军事力量的一个十分重要的作战行动。目前,由于受空间技术和新概念武器发展等诸多客观条件的制约,空间军事力量的作战样式主要表现为信息支援作战^[22]。天基信息支援作战的理论研究较多,但天基信息支援装备保障系统的理论却很少见,而装备保障是现代战争保障的中心,是战争胜负的重要基础,本书的研究将进一步把天基信息支援理论研究范畴从作战领域拓展至装备保障领域,从而推进天基信息支援理论的发展。

3) 丰富信息化作战装备保障理论研究

谁控制了太空,谁就控制了地球,天基信息对现代作战的支援和保障发挥着越来越重要的作用。随着空间信息系统的不断完善与发展,战时装备保障得到天基信息支援能力空前提高,装备保障系统的运行模式与作用机理发生较大变化,必然要求与之相适应的新的装备保障理论诞生。本书的研究适应了这一发展趋势,必将丰富和发展信息化作战装备保障理论。

2. 现实意义

1) 探索天基信息在装备保障领域中的应用

天基信息系统以其得天独厚的优势能够为装备保障指挥、装备抢救抢修和供应补给等提供全面、快速的信息支持,可以提高整体的信息获取能力、信息传输能力、信息处理能力和信息防护能力。同时,随着战争信息化程度的提高,装备保障也会对天基信息系统提出新的、更高的要求。本书通过对天基信息支援下装备保障建模与应用研究,初步探索了天基信息支援在装备保障领域各个环节中的应用。

2) 促进装备保障的信息化建设

由于未来信息化作战装备保障环境更为恶劣、时效需求更为迫切、对战场信息的依赖程度显著增加,所以信息化作战装备保障过程中要求实施可靠高效的信息保障、准确灵敏的装备指挥、多元一体的力量运用、实时高效的抢救抢修和主动配送的装备物资供应。本书的研究表明,天基信息的支援有利于实现装备保障适时、精确和不间断的指挥,远程支援维修的顺利开展,装备物资的及时供应,战损态势的准确评估和战场环境的有效监测。通过本书的研究,可以促进装备保障的信息化建设,进一步探索保障目标精确化、保障环境透明化、保障过程可视化和保障行动实时化的实现途径。

3) 提高装备保障系统的效能

本书着眼“围绕活动、面向过程、搞清机理、提高效能”的思路开展研究。围绕天基信息支援下装备保障的各项活动,包括装备保障指挥、装备抢救、装备抢修、器材供应和弹药补给等活动。面向天基信息支援下装备保障整个过程,搞清天基信息支援下装备保障实体形式化描述、活动运行机理、效能改善的动力学原理,从而提高装备保障的效能。

1.3 相关概念

本书立足我国天基信息支援系统现状,并面向未来我国天基信息系统的发展趋势,开展装备保障建模研究。装备保障分为战略、战役、战术3个层次,本书重点研究战术级装备保障的建模与应用问题。研究是在一定前提下和范围内进行,需要对相关概念作出必要说明。

1. 装备保障

2011年出版的《中国人民解放军军语》中,对“装备保障”这

一概念进行界定,装备保障是军队为满足作战及其他任务的需要在装备调配、维修、经费等方面组织实施的保障。对“装备保障”概念的理解,应在具体的语境或论域中作具体解释。现实中对“装备保障”的理解有:大概念、中概念和小概念3种^[23]。

(1) 大概念。把军事装备和装备工作作为工具与手段,以军事装备来保障军事活动。

(2) 中概念。以物质、技术和管理手段来保持或恢复部队军事装备体系的良好状态,使部队装备按编配标准齐全配套,按使用技术要求状况良好。

如果仅对军队自身而言,中概念和大概念是可以统一起来的。大概念强调的是军队装备工作的目的与任务,而中概念在进一步明确手段的同时,强调的是军队装备工作的目标。简而言之,装备保障的目的是保障军事活动,装备保障的目标是保持或恢复部队装备的齐全配套和良好技术状况。

(3) 小概念。以装备物资供应部队以及对部队装备进行调配。

在现代条件和现行体制下,小概念应弃之不用。中概念强调了目标,明确了手段(物质的、技术的和管理的)。大概念又强调了目的与任务,我们把大概念和中概念结合起来可以给装备保障概念下一个定义,就是以物质、技术和管理手段来保障或恢复部队装备的良好状态,使之按编配标准齐全配套,按使用技术要求状况良好,达到以军事装备保障军事活动目的的措施的统称。

本书研究的装备保障立足于战时,活动界定为战术层次,重点内容包括装备组织指挥、供应补给保障、装备抢救维修保障等,强调的是保障活动,目的是保障部队作战行动。

2. 天基信息支援系统

天基信息支援系统由不同轨道上的多类型军事卫星系统互联互通、有机构成的智能化体系,具有自主信息获取与存储、信息综合处理与分发等功能。主要包括侦察监视卫星系统、导航定位卫星系统和通信卫星系统。

1) 侦察监视卫星系统

侦察监视卫星系统由情报侦察卫星和环境监测卫星组成。

情报侦察卫星是用于获取军事情报的人造地球卫星，它利用光电传感器或无线电接收机等侦察设备，从轨道上对目标实施侦察、监视、跟踪，以搜集地面、海洋或空中目标情报，侦察设备记录目标反射或辐射的电磁波、可见光、红外信号，用胶卷、磁带存储于返回盘仓内。在地面回收，或者用无线电传输方式实时或延时传到地面接收站，收到的信号经处理，可从中提取有价值的情报。同其他侦察手段相比，卫星侦察具有如下优点：一是范围广。侦察卫星居高临下，视野开阔，在同样的视角下，卫星所观测到的地面面积是飞机的几万倍；二是速度快。在近地轨道上的侦察卫星，1.5h左右就可绕地球一圈，这是其他侦察工具所无法比拟的；三是限制少。卫星的飞行不受国界、地理和气候条件的限制，可以自由飞越地球任何地区。根据侦察任务和设备的不同，情报侦察卫星一般可分为电子侦察卫星、雷达成像卫星、光学成像卫星和预警卫星等。

环境监测卫星包括测绘卫星、海洋监视卫星和气象卫星等。气象卫星与本书研究内容关系较大，下面重点说说气象卫星。从外层空间对地球及其大气层进行气象观测的人造地球卫星称为气象卫星，它是气象观测系统的空间部分，卫星上携带有多种气象遥感器，能接收到测量地球及其大气层的可见光、红外与微波辐射，将它们转换成电信号传到地面。地面台站将卫星送来的电信号复原绘制成云层、地表和洋面图，经进一步处理，即可得出各种气象资料。在气象卫星问世以前，气象工作者利用地面气象站、气球、飞机和火箭进行气象观测，但占地球表面70%的海洋无法观测到，而海洋面上的气象变化对全球气象影响很大。气象卫星观测地域广阔，观测时间长，数据汇集迅速，因而能提高气象预报的质量，对灾害性天气如热带风暴的预报具有重要的作用。

2) 导航定位卫星系统

导航定位卫星系统由导航定位卫星组成。导航定位卫星，顾名思义，它是为地面、海洋、空中和空间用户提供导航定位服务。自1960年4月美国发射第一颗导航卫星“子午仪”以来，地球上空运行着不同国家发射的各种类型的导航卫星，正在为飞机、导弹、舰船等各种用户当“向导”。

目前，有四大全球卫星导航系统，其中包括：美国全球定位系统（Global Positioning System, GPS）、俄罗斯全球卫星导航系统（Global Navigation Satellite System, GLONASS）、中国“北斗”卫星导航系统（BeiDou (COMPASS) Navigation Satellite System）和欧洲“伽利略”（GALILEO）卫星导航系统。

GPS是20世纪70年代由美国陆海空三军联合研制的新一代空间卫星导航定位系统。GPS由28颗地球同步卫星组成（4颗为备用星），均匀地分布在距离地球20000km高空的6个轨道面上。这些卫星与地面支撑系统组成网络，每隔1~3s向全球用户播报一次其位置（经纬度）、速度、高度和时间信息，能使地球上任何地方的用户在任何时候都能利用GPS接收机同时收到至少4颗卫星的位置信息，应用差分定位原理计算确定自己的位置，精度为10m。美国GPS的特点：全球、全天候工作；定位精度高，单机定位精度优于10m，采用差分定位，精度可达厘米级和毫米级；功能多，应用广。

俄罗斯GLONASS正式组网比GPS还早，这也是美国加快GPS建设的重要原因之一。不过苏联的解体让GLONASS受到很大影响，正常运行卫星数量大减，甚至无法为俄罗斯本土提供全面导航服务，更不要说和GPS竞争。到了21世纪初，随着俄罗斯经济的好转，GLONASS也开始恢复元气。GLONASS的工作卫星有21颗，分布在3个轨道平面上，同时有3颗备份星。这3个轨道平面两两相隔120°，同平面内的卫星之间相隔45°。每颗卫星都在19100km高、

64.8°倾角的轨道上运行。每颗卫星需要 11h15min 完成一个轨道周期，精度约 10m。俄罗斯 GLONASS 特点：抗干扰能力强；GLONASS 采用军民合用、不加密的开放政策；GLONASS 采用频分多址（FD-MA）方式，根据载波频率来区分不同卫星（GPS 是码分多址（CD-MA），根据调制码来区分卫星）。

中国“北斗”卫星导航系统是中国正在实施的自主研制、独立运行的全球卫星导航系统。“北斗”卫星导航系统由空间端、地面端和用户端 3 部分组成。空间端包括 5 颗静止轨道卫星和 30 颗非静止轨道卫星。地面端包括主控站、注入站、监测站等若干个地面站。用户端由北斗用户终端以及与美国 GPS、俄罗斯 GLONASS、欧洲“伽利略”等其他卫星导航系统兼容的终端组成。中国此前已成功发射 4 颗“北斗”导航试验卫星和 16 颗“北斗”导航卫星，将在系统组网和试验的基础上，逐步扩展为全球卫星导航系统。中国“北斗”导航卫星的特点：与美国 GPS、俄罗斯的 GLONASS 相比，增加了通信功能；全天候快速定位，极少有通信盲区，与 GPS 精度相当；在提供无源定位导航和授时等服务时，用户数量没有限制，且与 GPS 兼容；特别适合集团用户大范围监控与管理，以及无依托地区数据采集用户数据传输应用；独特的中心节点定位处理和指挥型用户机设计，可同时解决“我在哪？”和“你在哪？”；自主系统，高强度加密设计，安全、可靠、稳定，适合关键部门应用；“北斗”卫星导航系统已具备覆盖亚太地区的定位、导航和授时以及短报文通信服务能力，到 2020 年成为覆盖全球的导航系统。

欧洲“伽利略”定位系统（Galileo Positioning System），是欧盟一个正在建设中的卫星定位系统，“伽利略”定位系统的基本服务有导航、定位、授时；特殊服务有搜索与救援；扩展应用服务系统有在飞机导航和着陆系统中的应用、铁路运行安全调度、海上运输系统、陆地车队运输调度、精准农业。发射 30 颗卫星，其中 27 颗卫星为工作卫星，3 颗为候补卫星。卫星高度为 24126km，位于 3 个倾

角为 56° 的轨道平面内。该系统除了 30 颗中高度圆轨道卫星外，还有 2 个地面控制中心。包括韩国、中国在内，日本、阿根廷、澳大利亚、俄罗斯等国也在参与该计划。欧洲“伽利略”卫星导航系统的特点：定位精度更高；可靠性和稳定性更高；防干扰性更强，技术更先进；能够与美国 GPS、俄罗斯的 GLONASS 实现多系统内的相互兼容。

3) 通信卫星系统

通信卫星系统由各种类型的通信卫星组成。通信卫星是用作无线电通信中继站的人造地球卫星，是卫星通信系统的空间部分。它转发或发射无线电信号，以实现地面站之间或地面站与航天器之间的通信，可传输电话、电报、电视、传真的数据等信息。卫星通信具有如下优点。

(1) 覆盖范围大。一颗静止轨道通信卫星，可覆盖地球表面的 $1/3$ ，能供相距 17000km 的两地面站直接通信。在赤道上空等距离地布置 3 颗静止轨道卫星，即可实现除南北极地区以外的全球通信。

(2) 通信容量大。目前，一颗卫星的容量可达数千到上万路电话，并可传输高分辨率的图片和视频信息。

(3) 传输质量高。卫星通信不受地形、地物等自然条件影响，且不易受自然或人为干扰以及通信距离变化的影响，通信稳定可靠。

(4) 机动性能好。卫星通信可作为大型地面站之间的远距离通信干线，也可作为机载、船载和车载的小型机动终端提供通信，能根据需要迅速建立同各个方向的通信联络。

(5) 生存能力强。通信卫星不易受核爆炸破坏和其他手段的攻击。

通信卫星的种类较多，按服务区域不同，通信卫星可分为国际通信卫星、国内通信卫星、区域通信卫星；按用途不同，可分为军用通信卫星、海事通信卫星、电视广播卫星等。军事通信卫星又分为战略通信卫星、战术通信卫星和跟踪与数据中继卫星，战略通信卫星提供远程直至全球范围的战略通信，战术通信卫星提供地区性