

赵经成 祝华远 王文秀 著



航空装备 技术保障运筹分析

Operations Research on Technical
Support for Aviation Material



国防工业出版社

National Defense Industry Press

航空装备技术保障 运筹分析

赵经成 祝华远 王文秀 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

航空装备技术保障运筹分析 / 赵经成, 祝华远, 王文秀著. —北京: 国防工业出版社, 2010. 6

ISBN 978-7-118-07159-7

I. ①航... II. ①赵... ②祝... ③王... III. ①航空 - 装备 - 军械技术保障 - 研究 IV. ①E926

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 203942 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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 7½ 字数 230 千字

2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 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) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

序

装备技术保障是作战保障的重要组成部分。在现代高技术战争条件下,装备技术保障的地位作用更加突出,航空兵作战尤为依赖高效的航空装备技术保障。

装备技术保障运筹是运筹学理论方法在装备技术保障领域的拓展及实践应用,是十分重要的装备运筹学研究领域。在航空装备技术保障活动中,开展决策优化研究,加强定性与定量相结合的运筹分析,对于做好军事斗争准备工作,加快形成和提升航空兵战斗力,必将产生巨大的推动作用。

《航空装备技术保障运筹分析》着力于运筹学理论方法与航空装备技术保障实践的融合,在认真总结我军装备技术保障经验和研究成果的基础上,较为系统地研究了解决航空装备技术保障实际问题的决策优化分析理论方法,构建了应用型航空装备技术保障运筹理论方法体系。本书思路新颖、结构严谨、内容丰富,具有较强的学术创新性、可读性和实践指导性,在航空装备技术保障决策优化分析方面,当属一本好书。

我很高兴地看到这本书的出版发行,相信会对我军航空装备技术保障更好地建设发展作出贡献。

总装备部专业技术少将
军事运筹学、军事装备学博导

陈庆华

2010年4月

前 言

航空装备技术保障是航空兵战斗力的重要构成。随着航空装备现代化建设进程的不断加快,航空装备技术保障活动变得更加复杂,亟需深入地从定性、定量两方面研究其决策问题,力促航空装备技术保障能力快速形成和提升。航空装备技术保障运筹分析是运筹学理论与方法在航空装备技术保障领域的拓展及实践应用,是为更好地解决航空装备技术保障问题,提供定量决策优化依据的一种科学实践活动。

全书共分8章,第1章为绪论;第2章为航空装备保障特性分析;第3章为以可靠性为中心的维修分析;第4章为保障预测分析;第5章为保障安排优化;第6章为航材存储和装备更新优化;第7章为保障辅助决策;第8章为航空装备技术保障能力评估。本书的重点是研究解决航空装备技术保障实际问题的决策优化分析理论与方法,力求运筹学理论与方法和航空装备技术保障实践的有机融合。

本书的写作和出版,得到了海军装备部航技部首长及机关的大力支持;在写作过程中,陈庆华教授、马乃苍教授、孙明礼副教授、杨晓华教授等曾给予指导,孙鲁青参与了书中部分插图的绘制工作;此外,本书借鉴吸收了国内外专家学者的相关研究成果。在此,作者一并表示衷心的感谢。

航空装备技术保障工作涉及面广、综合性强、发展速度快,尽管作者在撰写过程中着力于运筹学理论与方法和航空装备技术保障实践的紧密结合,但由于时间仓促,疏漏和不妥之处在所难免,敬请同行专家给予批评指正。

作 者

2010年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 军事运筹学和装备运筹学	1
1.1.1 军事运筹学	2
1.1.2 装备运筹学	4
1.2 航空装备技术保障	5
1.2.1 航空装备技术保障内涵	5
1.2.2 航空装备技术保障地位和作用	7
1.3 航空装备技术保障运筹分析研究内容	9
第 2 章 航空装备保障特性分析	12
2.1 航空装备保障特性要求及参数度量方法	12
2.1.1 可靠性要求及参数度量方法	12
2.1.2 维修性要求及参数度量方法	17
2.1.3 测试性要求及参数度量方法	20
2.2 基于支持向量机的保障特性参数估计	21
2.2.1 研究现状分析	22
2.2.2 统计学习理论及支持向量机	23
2.2.3 基于支持向量机的小样本数据分布模式 识别	27
2.2.4 小样本数据分布模式的 K-S 检验方法	34
2.2.5 参数估计方法及估计实例	35
2.3 航空装备保障特性综合评估	37

2.3.1	评估面临难题分析	38
2.3.2	评估指标	38
2.3.3	基于加速遗传算法的 Shepard 相似插值评估 方法	41
2.3.4	AGA-SSI 综合评估模型	46
第3章	以可靠性为中心的维修分析	53
3.1	基本内容和基本过程	53
3.1.1	RCMA 基本内容	53
3.1.2	系统和设备以可靠性为中心维修分析过程	54
3.1.3	结构以可靠性为中心维修分析过程	61
3.2	航空维修间隔期确定	63
3.2.1	使用检查间隔期确定	64
3.2.2	功能检测间隔期确定	65
3.2.3	定时拆修(报废)间隔期的确定	65
3.3	航空维修级别分析	68
3.3.1	使用过程中的维修级别分析	68
3.3.2	维修级别分析的程序	69
3.3.3	维修级别分析的方法	71
3.4	RCMA 在航空装备有寿件及其寿命指标调整中的 应用	74
3.4.1	有寿件及其寿命指标调整原则	75
3.4.2	产品重要度分析	75
3.4.3	产品寿命分析	79
第4章	保障预测分析	84
4.1	预测基本原理和一般步骤	84
4.1.1	预测基本原理	84
4.1.2	预测一般步骤	85
4.2	回归预测	85

4.2.1 一元线性回归预测	86
4.2.2 支持向量机回归预测	91
4.3 时间序列预测	95
4.3.1 移动平均预测	96
4.3.2 加权移动平均预测	97
4.3.3 指数平滑预测	97
4.3.4 具有季节性特点的时间序列预测	100
4.3.5 用于时间序列的灰色系统预测	102
4.4 马尔可夫预测	107
4.4.1 齐次马尔可夫链	108
4.4.2 转移矩阵及遍历概率	109
4.4.3 状态预测	111
第5章 保障安排优化	115
5.1 资源分配优化	115
5.1.1 线性规划基础知识	115
5.1.2 资源分配中的线性规划问题	116
5.1.3 非线性规划基础知识	121
5.1.4 保障装备配备非线性规划问题	122
5.2 计划安排优化	126
5.2.1 统筹法基础知识	126
5.2.2 统筹图调整优化	130
5.2.3 流程优化分析	136
5.3 排队问题优化	138
5.3.1 排队系统基本特性	138
5.3.2 M/M/1 排队模型	141
5.3.3 M/M/c 排队模型	144
5.4 最短路问题优化	147
5.4.1 最短路基础知识	147
5.4.2 最短路算法	148

5.4.3 最短路问题求解	149
第6章 航材存储和装备更新优化	151
6.1 航材存储优化	151
6.1.1 存储论基础知识	151
6.1.2 确定型存储模型	153
6.2 装备更新优化	158
6.2.1 装备劣化更新模型	158
6.2.2 利用动态规划确定装备更新策略	160
第7章 保障辅助决策	171
7.1 决策分析基本方法	171
7.1.1 确定型决策	171
7.1.2 不确定型决策	172
7.1.3 风险型决策	175
7.2 层次分析法决策	183
7.2.1 层次分析法确定权重	183
7.2.2 层次分析法决策的基本步骤	185
7.3 模糊综合评估	187
7.3.1 模糊综合评估基础知识	188
7.3.2 航空装备维修保障系统模糊综合评估	193
第8章 航空装备技术保障能力评估	202
8.1 构建评估指标体系	202
8.1.1 评估指标体系构建原则	202
8.1.2 评估指标体系构建分析	204
8.2 确定评估指标权重	210
8.2.1 权重确定原则	210
8.2.2 权重确定方法	211
8.2.3 评估指标权重确定分析	212

8.3 编制评估标准	215
8.3.1 评估标准编制原则	215
8.3.2 评估标准编制	215
8.4 评估组织实施	223
参考文献	225

第1章 绪 论

装备技术保障是国防现代化的重要内容,是军事斗争的基本力量(不仅是战斗力重要构成,而且是战斗力重要保障),是装备现代化建设的重要构成。航空装备具有准单次特性,且对安全性要求高,随着现代高新技术的飞速发展,使得航空装备成为军事装备系统中对技术保障依赖性最大的一个系统。

随着装备现代化建设过程的不断加快,尤其是高科技在军事上的应用,装备技术保障活动变得更加复杂,亟需深入地从定性、定量两方面研究其决策问题。航空装备现代化建设与军事斗争准备也迫切需要运筹学提供决策支持,加强对航空装备技术保障的运筹分析,为提升航空装备技术保障能力发挥更大的作用。

1.1 军事运筹学和装备运筹学

运筹学诞生于第二次世界大战期间,由“Operational Research”翻译而来,其当时的含义是“作战研究”或者“作战应用研究”。二战以后,这些研究作战的方法应用于民用领域,其英文含义为“运用研究”。1956年经钱学森、许国志介绍引入我国后,国内学术界将其译为“运筹学”。运筹一词出自《史记·高祖本记》,“夫运筹帷幄之中,决胜于千里之外”,词义是运用筹划。

运筹学的研究对象是人类对各种资源的运用及筹划活动,研究目的在于了解和发现这种运用及筹划活动的基本规律,以便发挥有限资源的最大效益,来达到全局最优的目标。运筹学与其他各学科不同的地方在于它从决策优化的角度研究人们的各类活

动,力求不仅从定性方面,而且着重从定量方面提供可操作的决策优化理论和方法。它的应用范围遍及工农业生产、经济管理、科学技术、军事等各方面。随着运筹学在军事领域的不断扩大应用和深入研究,逐渐形成了一门独立的军事学科,称之为军事运筹学。

1.1.1 军事运筹学

军事运筹学是应用数学和计算机等科学技术方法研究各类军事活动,为决策优化提供理论和方法的一门军事学科。

1. 军事运筹学的研究对象

军事运筹学的研究对象是军事活动中的决策优化问题。这里,军事活动泛指在军事力量建设和运用过程中,为达到一定军事目的而进行的军事资源运用活动;而决策优化则在于寻找合理有效的军事资源运用方案或使方案尽可能地得到改进。军事资源包括军事活动所使用的人员、装备、物资、设施、经费与时间等。因此,这里所说的军事活动决策优化可以是战备、作战、训练、编制体制、装备、后勤以及军费管理等各个方面和各个层次的问题;但从军事运筹学学科的内涵及人才培养的角度来说,它应侧重于作战行动、作战模拟、作战训练中的决策优化问题。

军事科学中的其他学科,如战略学、战役学、战术学、军队指挥学、军事训练学等,尽管也涉及到决策优化问题,但基本是属于定性描述,而军事运筹学不仅从定性方面而且着重从定量方面给出决策者一种可操作的决策方法。随着现代战争的日益复杂,一个决策所涉及的因素越来越多,单靠定性决策,已经不能满足实际需求,迫切需要一套能指导人们对复杂军事问题进行运筹的理论和方法。军事运筹学的基本任务之一就是提供这些理论和方法。

军事运筹学中使用了大量的数学知识,掌握运筹学需要具备一定的数学基础。正如莫尔斯在《运筹学方法》中所说的“运筹学用到数学,但不是数学的一个分支”,实践证明,单从数学的角度研究运筹学,大大影响运筹学研究与实践的发展。因此,应当十分明确“运筹学是一门利用所有已知的科学技术作为工具,去解决

为执行部门提供决策依据这一专门问题的应用科学”。

2. 军事运筹学的特点

军事运筹学经过几十年的发展,其特点可归纳为以下几个方面。

(1)军事运筹学是一门综合性交叉学科。随着军事问题所涉及的范围越来越广,军事运筹学研究中更加需要吸收来自不同领域、具有不同经验和技能的专家共同协作。这个特点使得军事运筹学具有明显的跨学科性和交叉性。

(2)军事运筹学研究强调系统的整体性。军事运筹学方法把研究对象看作一个系统,不是对各子系统的决策行为孤立评价,而是从系统的整体出发,把相互影响、相互作用和相互制约的各个方面作为一个统一体,从整体上进行科学推理和综合分析,以找到一个优化协调的方案。

(3)模型化方法的应用。建立模型是军事运筹学方法的精髓,制定决策是军事运筹学应用的核心。只有建立了适用的模型,才能在计算机上实现模拟、求解和分析。

(4)军事运筹学研究只具有参谋作用。作为一种科学的方法,运筹结果侧重于从数量方面为最优决策提供依据,但不能代替决策本身,也不是决策的唯一依据。决策者除了接受科学的定量分析以外,还要考虑社会、政治、经济以及个人的经验、判断和领导艺术等无法量化的定性因素,综合权衡后,最终做出正确的决策。

3. 军事运筹学的基本内容

军事运筹学内容丰富、涉及面广,一般可分为基础理论和应用理论。

(1)基础理论。基础理论是既可应用于军事领域也可应用于非军事领域的一般理论。这些理论依据所研究的内容分为以下几种:①经典基础理论,主要包括线性规划、非线性规划、整数规划、动态规划、多目标规划、网络分析、排队论、对策论、决策分析、存储论、可靠性理论等;②支持技术理论,支持技术理论是支持运筹分析不可缺少的技术工具,主要包括计算机技术、模拟技术、统计试

验技术、概率与数理统计、信息论和控制论等;③边缘交叉科学理论,边缘交叉科学理论为运筹分析提供了新的方法和工具,主要包括相似理论、模糊数学理论、灰色系统理论、统计学习理论、神经网络理论、混沌理论、突变理论、协同学理论、遗传算法等。

(2)应用理论。主要包括作战效能评估理论、作战模拟理论、武器射击运筹理论、军事指挥辅助决策理论、装备运筹理论、后勤运筹理论、军事人力资源管理理论、国防系统运筹研究理论和军事战略运筹研究理论等。

1.1.2 装备运筹学

装备运筹学是军事运筹学的重要分支,是军事运筹学在装备领域的拓展。

1. 装备运筹学的研究对象

装备运筹学的研究对象是军事活动中装备领域的决策优化问题,即运用运筹学的理论与方法研究装备科研、订货、保障部队使用直至装备退役、报废的全系统、全寿命管理活动中的决策优化问题。装备运筹学是军事运筹学的重要组成部分,是军事运筹学的一个重要研究手段。

2. 装备运筹学的研究内容

军事装备学是研究军事装备发展、保障及管理规律,用以指导军事装备工作实践,提高装备的发展规划能力、管理决策能力和综合保障能力的一门军事学科,是属于社会科学范畴的军事学科。装备运筹学与军事装备学不同的地方就在于它从决策优化的角度研究装备发展、保障与管理活动,且力求从定性方面,而且着重从定量方面提供可操作的决策优化理论与方法。

装备运筹学的研究内容主要包括3个方面:①对装备发展、保障与管理活动中的决策优化方法进行研究;②对装备领域的具体问题,给出应用研究结果或者提出决策优化建议;③开展装备运筹研究的环境建设,如装备数据库、装备保障与管理模型库、装备保障指挥演练实验室建设等。其目的都是要加强装备现代化建设,

适应军事斗争需要,实现决策的优化,即为决策者在装备发展、保障与管理活动中更好地做出运用军事资源的决策,提供有数量根据的行动方案。

1.2 航空装备技术保障

恩格斯指出,“在着手研究某种过程以前,应当先研究事物。应当首先知道这一事物是什么,然后才可以研究其中所发生的变化”。科学准确地界定航空装备技术保障,是进行航空装备技术保障运筹分析的基础。

1.2.1 航空装备技术保障内涵

装备技术保障这一概念最早来源于苏联,但从诞生至今,内涵在不断地发生变化。

1980年版的《苏联军事百科全书》对装备技术保障的释义,“为使军事技术装备保持随时可以启用的技术完好状态,而组织和实施的对技术装备的正确使用、保养和修理”;其主要工作内容,“组织军事技术装备的正确操作和使用,及时后送修理军事技术装备,保障部队所需的军事技术装备和技术器材,训练所属人员掌握技术装备,对技术保障的兵力和器材实施指挥和管理”。该提法包含有技术保障的技术措施、指挥管理等方面的内容。

1997年版的《中国人民解放军军语》对装备技术保障的释义,“为保持和恢复武器装备的良好技术状态而采取的各项保证性措施与进行的相应活动的统称。主要包括对武器装备及其零部件的供应、保养、检查、维修、改装等。”

1998年版的《空军航空工程辞典》对航空装备技术保障释义,“为保持、恢复和提高航空技术装备性能,使之随时可用而采取的技术措施;是航空兵战斗力的重要保障;基本内容是飞行机务准备和飞机维修。”该提法将航空装备技术保障仅限于对航空装备采取的技术措施。

2000 年李世平等著《空军航空装备技术保障》对空军航空装备技术保障的释义,“为保持和恢复空军航空装备(飞机、直升机、航空军械和机载设备等)的良好和随时可用状态而采取的各项保障性措施与进行的相应活动的统称”。并对该定义进行了分析,“良好状态是相对装备的技术标准而言,随时可用是相对作战任务要求而言。航空装备技术保障所进行的保证性措施与相应的活动,主要包括航空装备维修、航材、弹药和航空导弹保障,以及相关的保障装备建设、保障人员专业培训和维修改革等。通过以上工作,保持或改变装备的技术状态,使装备达到良好和随时可用,就是航空装备技术保障的本质特征”。该提法包含有技术保障的技术措施和相应活动。

2001 年张子丘等著《装备技术保障概论》对装备技术保障的释义,“为了充分发挥、保持、恢复和完善装备的战术技术性能而采取的技术措施和进行的指挥管理和战术活动的统称。主要包括对装备的动用、保养、检查与测试、修理、补给与供应、储存、运输以及必要的改装;装备技术保障力量的编成、部署、指挥、防卫等”。该提法既包含技术保障的技术措施和相应活动,还明确了指挥管理层次的内容。

2006 年郝杰忠等著《装备技术保障运筹分析》对装备技术保障的释义,“总的来说,技术保障有狭义、广义之分。狭义的定义是指为了保持与恢复列装后装备的规定性能而进行的保养、修理、检查、改装、管理等活动的统称。较为广义的定义就是‘装备综合保障工程’,即在装备设计中综合规划所需的保障问题,并在部署使用的同时,以最低费用为目标,提供与装备相互匹配的保障资源,建立保障体系,来满足战备和任务要求所进行的一系列技术与管理活动”;同时指出,“狭义的定义基本符合目前我军的实际情况,而广义的定义则是所期望的较为理想的情况”。该提法将装备技术保障与装备综合保障工程建立起了联系。

综上所述,鉴于装备技术保障既有丰富的军事理论内涵,又有丰富的军事技术内涵,与军事理论和军事技术两个部类的多个学

科都存在密切关系,是一个综合性很强的学科,是军事理论和军事技术之间的一个边缘学科;且受不同装备自身保障特点及我军不同军兵种装备技术保障编制体制等的影响及制约,国内对装备技术保障的理解还不完全统一。

为此,结合海军航空装备技术保障实际,采用2006年版的《海军航空装备技术保障规定》对航空装备技术保障的释义,来界定航空装备技术保障的内涵,“航空装备技术保障指为保持、恢复和提高航空装备技术性能,使之随时可用而采取的技术措施及其相关活动的统称。主要包括航空机务保障、工厂修理、航空军械保障和航材保障以及相关的保障装备建设、保障人员专业培训和维修改革等内容。航空装备包括飞机、直升机、航空发动机、机载设备以及飞机挂载的武器和其他外挂装(设)备等”。

1.2.2 航空装备技术保障地位和作用

1. 航空装备技术保障是航空兵战斗力的重要构成
武器装备要形成战斗力,至少应满足五大标准要求。

(1)质量标准,战术技术性能先进,可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性高。质量标准主要有6个方面,即战术技术性能指标、可靠性指标、维修性指标、测试性指标、保障性指标和安全性指标。没有好的质量,武器装备就不会有令人满意的作战效能,更谈不上形成战斗力。

(2)数量标准,成建制,形成规模。一种武器装备只有积累到一定数量时,才能充分显示其作战能力。如,科索沃战争初期,南联盟6架米格-29飞机进行反空袭作战,由于升空作战的飞机数量较少,没有规模优势,南联盟飞行员在升空后惊呼,“我的上下左右都有美国飞机”,结果有5架被击落。再如,美军在红旗靶场曾作过253次实兵空战对抗演练,用F-5飞机(作战效能指数为8)与F-15(作战效能指数为16)对抗,限于空中格斗。演练统计结果表明:1对1空战,损失比为2.2:1;2对2空战,损失比为1.4:1,F-15飞机的优势有所减弱;2对1空战,损失比为0.6:1,