



武器装备效能分析方法

胡晓惠 蓝国兴 申之明 赵 巍 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

总装部队军事训练“十五”统编教材

科研试验系列

武器装备效能分析方法

胡晓惠 蓝国兴 申之明 赵巍 编著
张最良 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

武器装备效能分析方法/胡晓惠等编著. —北京:国防工业出版社,2008.8

总装部队军事训练“十五”统编教材. 科研试验系列
ISBN 978-7-118-05668-6

I. 武... II. 胡... III. 武器装备-武器效应-分析方法-教材 IV. E920.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 052562 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 100044)

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 11 $\frac{5}{8}$ 字数 334 千字

2008 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 30.00 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

第三届总装备部军事训练教材 编辑工作委员会

主任委员 张建启

副主任委员 曹保榆 夏长法 侯贺华 郭文敏

委 员 (按姓氏笔画排序)

于俊民 王宜标 王泽民 尤广志

冯 章 朱双华 朱忠刚 刘树军

刘瑞成 安敏建 李方洲 李治三

肖力田 迟宝山 张忠华 张海东

陈永光 胡利民 侯 鹰 姜世忠

聂 皞 倪红星 徐 航 郭 勇

黄伟强 彭华良 裴承新 潘贤伦

秘 书 长 聂 皞

办公室主任 田 禾

办公室副主任 石根柱 郝 刚

办公室成员 李国华 李立法 郑晓娜

序

军事训练教材是部队开展军事训练和培养高素质科研试验与管理人才的重要基础。“十五”期间是我军加速武器装备现代化建设的关键时期,随着科学技术不断发展,新武器、新装备大量投入部队使用,急需编写相应的配套教材,来满足部队军事训练和人才培养的需求。为此,总装司令部印发了《总装部队军事训练教材建设“十五”计划》,并组织部分专家、学者编著了这套总装部队军事训练“十五”统编教材。

编著这套总装部队军事训练“十五”统编教材是国防科研试验事业继往开来的大事,也是体现国防科研试验技术水平的一个重要标志。它以新时期军事战略方针为统揽,以军委和总装首长关于加强军事训练工作的一系列重要指示为指导,以《军事训练与考核大纲》、《继续教育科目指南》为依据,坚持科学性、前瞻性和实用性相结合,不断满足军事训练和人才培养对教材的需求,为圆满完成武器装备科研试验和管理保障任务提供了有力的技术支持。

“十五”统编教材共计 69 部,内容涉及科研试验、陆军装备科研订购、通用装备保障和试验后勤等 4 个系列的 28 个系统。这套教材既总结升华了武器装备科研试验和管理保障经验,又反映了国内外最新动态和发展方向,是对国防科研试验工程技术系列教材建设的进一步延续和扩展,是一批高质量的精品教材。其使用对象主要是部队具有大专以上学历的科技人员和管理干部,也可供院校有关专业师生使用或参考。

期望这套教材能够有益于部队高素质人才的培养,有益于武器装备科研试验和管理保障任务的完成,有益于国防科技事业的进步。

总装备部军事训练教材

编辑工作委员会

二〇〇五年十二月

前 言

近期发生的几场局部战争表明,信息化战争正在向我们走来。信息时代的武器装备性能先进、构成复杂、费用昂贵,其一体化、综合化、信息化的发展趋势,对武器装备全系统建设的各个方面、全寿命管理的各个环节,都提出了更新、更高的要求。深入研究信息化条件下的武器装备体系,已经成为武器装备发展论证研究的重要内容,而武器装备效能分析方法更是装备论证方法的核心之一,信息时代战争的到来给武器装备效能分析带来了极大的发展与创新空间。

武器装备效能分析从开展建模研究,到开发仿真系统,再到建设各类实验室,经历了一个不断进步、不断提高、不断完善和不断成熟的过程。在早期,最初是射击效率等的分析,后来发展到运用运筹学方法建立各种分析论证模型;随着研究的问题越来越深入,研究对象变得越来越复杂,人们在建立各种功能单一的分析计算模型的同时,更加关注开发各种聚合的仿真系统;从 20 世纪 90 年代中期开始,许多科研单位着手建设装备论证仿真中心,并逐步过渡到实验室的建设。武器装备效能分析方法和技术正处于不断的发展之中,但是目前在武器装备论证领域尚缺乏系统、全面的教材,在从事武器装备效能分析的过程中,我们深感有必要在综合国内外各种方法的基础上,系统地写出一本武器装备效能分析方法的书籍,以对武器装备效能分析方法进行系统的总结。

全书共分为 9 章。第 1 章论述了武器装备效能分析及相关问题的概念、定义,全面综述了武器装备效能分析技术和方法及其发展状况和发展趋势,并对综合评估环境,基于效能分析的决策支持方法和研讨方法进行了概述;第 2 章介绍了效能分析需求工程方法和研究内容,并研究了效能分析中作战想定描述问题;第 3 章介绍了武器装备系统效能模型,详细介

绍了 WSEIAC 模型;第 4 章介绍了武器装备多指标评估方法,包括层次分析法、多层次灰色评价法、基于熵权的模糊层次分析法、多目标模糊优选法、模糊综合评判法、灰色关联度评判法、德尔菲法等;第 5 章论述了武器装备体系效能分析方法和体系效能分析过程,详细介绍了 HIMAX 方法和兵力交换模型,探讨了武器装备体系效能分析步骤和流程;第 6 章探讨了模型体系框架的概念和相关研究内容,给出了模型体系的顶层结构和分层结构等;第 7 章论述了武器装备效能分析仿真模型涉及的地理信息环境和表现问题;第 8 章从武器装备论证效能决策支持角度出发,介绍了决策支持系统、综合集成研讨厅和基于仿真的采办等,对综合集成研讨厅的概念和实现方法进行了系统阐述;第 9 章讨论了武器装备效能分析模型标准和模型的认证、检验问题。

本书由胡晓惠策划和构思,第 1 章由胡晓惠撰写,第 2 章由蓝国兴、陈欣、邢继娟撰写,第 3、4 章由申之明撰写,第 5 章由刘东利、申之明和蓝国兴撰写,第 6 章由蓝国兴撰写,第 7 章由赵巍、程红撰写,第 8 章由胡晓惠、蓝国兴撰写,第 9 章由赵巍撰写。全书由胡晓惠、蓝国兴统稿。

本书几位作者都长期从事武器装备效能及武器装备体系效能的定量分析研究工作,主持或参与了多项武器装备效能分析系统的研制工作,积累了大量武器装备效能分析方面的经验。本书是作者多年研究工作的结晶,更是许多武器装备效能分析人员研究成果的总结。北京系统工程研究所的领导和同事们对本书的编写给予了极大的支持和帮助。作者的同事蔡业泉、刘建湘、李英华、李亚、付勇、葛含益、黄仲文、周莺等提供了相关资料并提出了宝贵意见。本书参考了张最良、倪忠仁、徐学文教授等提供的相关材料。军事科学院军事运筹研究所张最良教授对文稿做了十分认真的审读,提出了许多宝贵意见。在此一并表示衷心的感谢。

由于武器装备效能分析方法涉及领域广泛,发展又非常迅速,加之我们的水平有限,书中难免会有一些值得进一步研究和探讨的问题。不妥之处,敬请广大读者指正。

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 武器装备效能分析的基本概念	1
1.1.1 效能	1
1.1.2 效能分析	3
1.2 效能分析的意义和作用	5
1.2.1 效能分析的意义	5
1.2.2 效能分析在武器装备全寿命周期各阶段中的应用	6
1.3 效能分析的原则	7
1.4 效能分析方法和技术综述	9
1.4.1 国内武器装备效能分析发展与演化	9
1.4.2 国外武器装备效能分析发展	11
1.4.3 武器装备系统效能分析方法	14
1.4.4 武器装备体系效能分析方法	25
1.5 效能分析环境	28
1.5.1 用于效能分析的综合评估环境	28
1.5.2 决策支持系统的发展综述	34
1.5.3 综合集成研讨厅	36
1.6 效能分析方法和技术的共性问题	37
1.6.1 仿真模型的建立	37
1.6.2 仿真系统的开发	40
1.6.3 建模仿真标准与规范	42
1.6.4 模型的认证与检验	44

1.7 效能分析方法及其技术的发展趋势	46
第2章 武器装备效能分析的需求和想定	48
2.1 概述	48
2.2 效能分析系统需求工程的主要研究内容	49
2.3 需求获取和获取方法	51
2.3.1 需求获取	51
2.3.2 需求获取方法	52
2.4 需求分析技术	54
2.4.1 效能分析系统需求的结构化分析技术	54
2.4.2 控制流的需求分析技术	58
2.5 效能分析系统需求工程的形式化需求描述技术	61
2.6 需求模板	62
2.7 需求管理和验证	63
2.7.1 需求管理	63
2.7.2 管理工具	64
2.7.3 需求验证	66
2.8 需求工具	67
2.8.1 基于操作方法的需求工程工具	67
2.8.2 基于知识的需求工程工具	68
2.8.3 面向对象的需求工程工具	70
2.8.4 需求跟踪工具	71
2.8.5 其他需求工程工具	71
2.9 效能分析系统中的作战想定	72
2.9.1 想定内容框架	75
2.9.2 系统结构	75
2.9.3 仿真想定数据组织	86
2.9.4 仿真按想定的推演机制	90
第3章 武器装备系统效能评估	93
3.1 概述	93
3.1.1 武器装备系统效能的概念	93

3.1.2	武器装备的系统效能模型	94
3.2	武器系统效能分析 ADC 模型	96
3.3	可用性	97
3.4	可信性	98
3.5	能力	104
3.5.1	能力矩阵	104
3.5.2	系统能力的概念	105
3.5.3	命中概率	106
3.5.4	毁伤率	109
第4章	武器装备效能多指标评价方法	112
4.1	概述	112
4.2	层次分析法	113
4.2.1	层次分析法简介	113
4.2.2	层次分析法的基本步骤	113
4.2.3	应用层次分析法需注意的问题	119
4.3	多层次灰色评价法	120
4.4	基于熵权的模糊层次分析法	124
4.5	多目标模糊优选法	126
4.6	模糊综合评判法	129
4.7	灰色关联度评判法	132
4.8	德尔菲法	135
4.8.1	德尔菲法简介	135
4.8.2	德尔菲法的基本步骤	136
4.8.3	应用德尔菲法需注意的问题	142
第5章	武器装备体系效能分析	144
5.1	概述	144
5.1.1	体系效能指标及其选择	145
5.1.2	武器装备体系效能指标	146
5.2	体系效能优化方法	148
5.2.1	体系效能的优化	148

5.2.2	体系效能优化的方法	149
5.3	综合多属性试评评估方法	153
5.3.1	准备阶段	154
5.3.2	生成阶段	162
5.3.3	评估阶段	165
5.3.4	优化阶段	167
5.3.5	试探阶段	171
5.3.6	交互阶段	174
5.4	兵力交换模型	175
5.4.1	兵力交换模型概述	175
5.4.2	兵力交换模型的建立	178
5.4.3	兵力交换模型在防空中的应用	183
5.5	武器装备体系效能分析过程	191
5.5.1	收集信息与确定目标	192
5.5.2	建立假定和约束条件	200
5.5.3	拟定备选方案	201
5.5.4	分析效能和费用	202
5.5.5	权衡备选方案	206
5.5.6	分析风险和不确定性	207
5.5.7	评价与反馈	210
5.5.8	输出结果	210
第6章	模型体系框架	214
6.1	概述	214
6.2	模型的层次框架	216
6.2.1	模型的层次	216
6.2.2	模型的四层次框架	219
6.3	模型的属性	231
6.4	模型的体系结构框架	233
6.4.1	建模与仿真的工作范围	233
6.4.2	模型分类	234

6.4.3 模型体系框架的顶层结构	237
第7章 地理信息环境及其表现	240
7.1 地理信息系统概述	240
7.2 地理信息环境及其表现系统	242
7.2.1 综合战场环境数据库	242
7.2.2 军事地理信息系统	244
7.2.3 综合环境及三维仿真实体建模系统	244
7.2.4 军事行动想定与态势信息系统	245
7.2.5 环境分析系统	245
7.2.6 二维态势显示系统	246
7.2.7 三维场景显示系统	246
7.3 地理信息环境表现关键技术	246
7.3.1 虚拟现实技术	246
7.3.2 综合环境数据表示与交换规范	248
7.4 地理信息系统的工具软件介绍	249
7.4.1 ArcInfo 介绍	249
7.4.2 PowerMap 简介	254
第8章 面向武器装备效能分析的决策支持	260
8.1 概述	260
8.2 武器装备决策支持系统	261
8.2.1 DSS 产生背景	262
8.2.2 DSS 的理论基础	264
8.2.3 DSS 与相关技术的关系	266
8.2.4 DSS 的基本概念	267
8.2.5 DSS 的类型	272
8.2.6 DSS 的构造与系统结构	277
8.3 武器装备体系论证辅助决策支持系统	284
8.3.1 系统的体系结构	285
8.3.2 系统的功能描述	286
8.3.3 系统的工作机制	287

8.3.4	辅助决策支持系统	289
8.4	基于知识的模型管理	290
8.4.1	模型库管理系统功能	290
8.4.2	设计方案及其原理	291
8.4.3	系统的实现方法	293
8.5	定性定量相结合的综合集成研讨厅系统	299
8.5.1	研讨厅提出的背景	300
8.5.2	研讨厅及其系统实现的理解与思考	300
8.5.3	研讨厅的特点	301
8.5.4	研讨厅的独特作用	302
8.5.5	研讨厅与相关研究的关系	302
8.5.6	研讨厅系统实现的总体考虑	303
8.5.7	研讨厅系统实现的关键问题	304
8.5.8	研讨厅实现的一种系统结构	311
8.6	基于仿真的采办	315
8.6.1	SBA 的基本概念	316
8.6.2	SBA 的研究现状	319
8.6.3	SBA 的理论框架	327
8.6.4	SBA 的体系结构	330
第9章	效能分析模型标准及其认证与检验	336
9.1	模型标准	336
9.1.1	模型标准的相关内容	338
9.1.2	武器装备效能模型的建模标准化	340
9.1.3	模型文档的规范化	341
9.2	模型的认证与检验	343
9.2.1	模型认证与检验的重要意义及其局限性	344
9.2.2	效能分析模型认证与检验过程	345
9.2.3	模型认证与检验的方法	351
参考文献		357

第1章 概 论

1.1 武器装备效能分析的基本概念

武器装备是决定信息时代战争胜负的关键因素。现代武器装备的研制是一项极其复杂的系统工程,具有技术先进、耗资巨大、研制周期长等特点,而且难度和风险都很大。为了保证军队获得高效能的武器装备,有必要在武器装备研制的各个阶段,利用相关方法和技术,进行武器装备效能的定量分析,而如何评定武器装备效能则是其中十分关键的一环。武器装备效能分析是对武器装备完成规定任务能力的分析,所以采用科学的方法进行武器装备效能分析对于有效缩短武器装备的开发时间、降低开发成本、提高武器装备的综合性能就变得越来越重要。

武器装备效能分析方法非常广泛,包括解析法、指数法、统计法、计算机仿真方法以及研讨法等。效能分析是一个非常宽、非常难的研究课题,不仅涉及到武器装备分析的理论、方法,还涉及到需求分析和想定描述,以及系统体系结构和模型体系框架,还包括分析过程和分析环境,以及建模仿真标准和模型认证与检验等问题。

1.1.1 效能

武器装备也称武器系统、装备或武器装备系统。武器装备是“用以实施和保障作战行动的武器、武器系统和军事技术器材的统称,主要指武装力量编制内的武器、弹药、车辆、机械、器材、装具等。”是人们为作战需求而加工制造的一种为战争服务的特定产品。它的使用同其他普通产品一样都要追求从中所能获取的效益,为了科学直观地反映这种

效益的大小,人们最初引入了性能指标来对其进行评价,而伴随武器装备系统的日益复杂,它们也越来越难以反映武器装备系统对作战需求的真实满足程度,为此人们对武器装备系统的性能追逐逐步转化为对其效能的追逐。

效能是武器系统完成特定作战任务的能力,反映了武器系统一个总的特性和水平,说明了该武器装备对军事上的有用程度。

关于效能的概念目前有几种不同的定义,缺乏一种较为明确一致的定義,通常认为效能是用来衡量在规定的时间内完成规定任务的程度的指标。

较有影响的定义有 GJB1364-92《装备费用—效能分析》中关于效能的定义:“在规定的条件下达到规定使用目标的能力。”该定义中武器装备的效能体现了装备的使用价值。

根据研究问题的需要,效能还可分成以下3类。

(1) 指标效能:运用武器装备时,达到单一使用目标的程度。如防空武器装备的射击效能、探测效能等。单项效能对应的作战行动是目标单一的行动,如侦察、干扰等火力运用与火力保障中的各个基本环节。

(2) 系统效能:武器系统在一定条件下,满足一组特定任务要求的可能程度,是对武器效能的综合评价。

(3) 作战效能:在规定条件下,运用武器装备的作战兵力执行作战任务所能达到的程度。

指标效能是从某一侧面刻画武器装备效能的一种度量,如火炮射程、飞机作战半径、通信误码率等。

在效能分析领域,用得比较多的一个概念是系统效能。系统效能是在对装备系统可靠性、维修性、保障性深入研究的基础上发展起来的。在 GJB451-91《可靠性维修性术语》中,对武器装备系统效能给出了一个更加明确广泛的定义,即“在规定的条件下满足给定定量特征和服务要求的能力。它是系统可用性、可信性及固有能力的综合反映。”该定义中武器装备系统的效能是可用性、可信性和固有能力的3个综合指标的进一步综合。这个概念最早出自美国工业界武器系统效能咨询委员会,其定义是:“系统效能是预期一个系统满足一组特定任务要求的程度的量度,

是系统的有效性、可信赖性和能力的函数。”

$$E = A \cdot D \cdot C \quad (1-1)$$

式中： A 是有效性，是在开始执行任务时系统状态的量度，是硬件、人员和程序间关系的函数； D 是可信赖性，是在已知系统开始执行任务时的状态条件下，在执行任务过程中某个瞬间或多个瞬间的系统状态的量度； C 是能力，是在已知系统执行任务过程中的状态条件下，系统达到任务目标的能力的量度。

这是一个人们普遍接受的定义，以此定义所建立的分析模型将系统效能的参数分解为有效性、可信赖性、能力三大部分。

其他还有一些类似的定义。在美国军用标准 MIL - STD - 721B 中，系统效能 (System Effectiveness) 的定义是：“产品能够预期完成一系列专门任务要求的程度的量度，它可以理解为有效性、可信赖性和能力的函数。”美国陆军导弹司令部的定义是：“对使用者满意程度的度量。即在规定的的设计范围内工作时，该系统满足任务要求的概率；或者说，当正常工作时，对它的那份工作做得有多好。”美国洛克希德导弹和空间公司对系统效能下的定义是：“系统效能指的是当需要系统工作时，该系统能达到其任务目标的能力。对武器系统来说，可以是指它能予以发射、飞行所需的距离，并能摧毁目标的能力。广义上，它还有型号能满足费用及进度指标的能力这一含义。为了发挥效能，一个系统必须是随时可用的，又必须是持续可用的。”

综上所述，武器装备系统效能所能概括的含义就是装备系统所具有的使用价值和作战能力的体现，它是武器装备系统在规定的的使用环境条件、装备管理维护条件、使用方式等条件下达到某个或某些任务目标的能力的大小。

1.1.2 效能分析

武器装备效能分析是对武器装备执行其使命能力过程所进行的一系列评估活动。主要是运用军事系统工程理论和方法，以及建模仿真等技术手段，进行武器装备及其体系效能评估，促进作战需求向装备发展需求

的转换,为武器装备发展及其建设等提供支撑。

武器装备效能分析的特点之一是强调定量化的分析,即通过对问题建立适当的模型进行定量分析。通过效能分析能够使决策者作出更合理、更合适的选择,分析的结果能使决策者减轻负担,提高决策能力和工作效率;特点之二是武器装备的对抗性,通常情况下,装备执行其使命必然与敌方的装备和目标发生对抗,因此,效能分析是针对我方装备与敌方装备对抗条件下的装备能力的评估。

武器装备效能分析是一个反复迭代的过程,通常,在武器装备寿命周期的各阶段,都要运用武器装备效能模型反复进行效能分析。在初步设计阶段,要预测各方案的装备效能。在用试验模型进行的初步估算,得到关于装备性能、可靠性、可维修性等的最初的实际值。此时,要把这些数值输入到武器装备效能模型中去。根据模型的输出,修改原来得到的预测值,改进初步设计。这一过程一直要进行到武器装备投产为止,以保证有效地进行武器装备设计,并保证在全面研制、定型生产或装备部队前,弄清楚要作出的其他改进。武器装备在装备部队之后,将受到野外环境影响,其中包括在野外进行的后勤支援和维修工作的影响。与此同时,将源源不断地得到野外试验数据。此时,还要根据系统效能模型去确定受野外环境影响的系统作战效能,以便揭示需改进的地方。

对于不同类型的具体武器装备而言,效能分析内容的深度和广度会有所区别,即使是同一种武器装备系统,不同情况下其分析的着重点也会有所不同。例如对于火控系统来说,如果是为了发展新型火控系统,若在系统设计之前进行效能分析,将着重于各种方案的比较与选择,寻找满足战术技术要求的最优方案;若对现有火控系统装备部队之前进行效能分析,将着重于研究其最佳的战斗使用方案,以便最大限度地发挥其作战效能;若是对生产、制造或产品改型换代过程中所进行的效能分析,则需对各个分系统、部件、设备及各环节进行分析研究,应着重于费用、效能的分析比较,寻找满足火控系统总体性能的要求并达到最佳费效比的指标;如果是在制订规划、计划或在确定研究发展方向之前所进行的效能分析,应在考虑技术基础、环境、条件、费用风险、寿命周期等各因素之下,进行全