



武器装备体系作战效能 与作战能力评估分析方法

罗鹏程 周经伦 金光 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

014055914

E92
109

武器装备体系作战效能与 作战能力评估分析方法

罗鹏程 周经伦 金光 著



北航

C1743933

国防工业出版社

·北京·

E92
109

110720410

内 容 简 介

研究武器装备体系或为装备发展论证服务,或为型号的设计和研制服务,或为作战方案优化或检验等服务,都绕不开作战效能和作战能力。本书针对当前研究中存在的问题,系统地介绍了体系作战效能和作战能力的基本概念和意义、体系想定样本空间生成的实验设计方法、解析与仿真相结合的体系作战效能评估方法、体系作战效能不确定因素分析方法、体系作战能力整体性(连通性)评估方法和基于效能的体系作战能力评估方法等。

本书可为从事体系工程、系统工程、军事运筹学、作战仿真以及作战指挥等专业的科技人员提供参考,也可作为相关专业的研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

武器装备体系作战效能与作战能力评估分析方法/罗鹏程,周经伦,金光著. —北京:国防工业出版社,2014.9
ISBN 978-7-118-09726-9

I. ①武... II. ①罗... ②周... ③金... III. ①武器装备-作战效能-评估-分析方法②武器装备-作战能力-评估-分析方法 IV. ①E92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 192826 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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 220 千字

2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 39.00 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

基于武器装备体系领域多年来的研究实践,我们理解,体系作战效能是一个动态的概念,指其实现特定作战任务目标的有效程度,用于度量在给定威胁、条件、环境和作战方案下体系完成任务的效果;体系作战能力是一个静态的概念,指其完成使命任务的“本领”或潜力,为体系的整体特性和固有属性。其概念内涵既有区别又紧密联系,决定了作战效能和作战能力研究既密切相关,又具有不同意义。如不能正确认识和科学区分,将致此二者研究混淆或脱节。这正是很长时间以来该领域研究的一大问题,致使在指标选取、理论建立、方法选用等方面均存在困扰,也是当前很多成果难以实用的原因之一。

在方法层面,作战效能评估大体可分解析评估和仿真评估两类(这里是指基本指标的获取),各有专长。解析法易于突出主要因素对效能的影响且运算量较小,但不能对作战过程的随机性进行描述,亦即建模难以细致深入,因而适于在对技术和战术细节关注较少且要求短时间得到结果的情况下应用。相比而言,仿真可较全面地描述作战的随机性并获得相对精细的结果,但运算量大、耗时多、参数调整较为复杂,且对技术和战术方面细节知识的要求都很高。另外,为得到具有普遍意义的结果,还需要针对大想定集进行仿真,这又进一步加大了仿真的难度。但总体而言,随着软、硬件技术的不断发展,仿真仍是目前研究体系作战效能的主要技术途径。

关于体系作战能力评估,当前使用较多的方法可分为两类。一是以加权和/加权积、层次分析(AHP)、价值中心法等为代表的“分解-聚合”方法。其思想基础是:体系的作战能力是各型武器装备性能指标和数量的函数,因此先从火力、机动、生存、指控、电子对抗等方面的作战能力进行“分解”,直至装备性能指标,再对数据进行规范化处理并自下而上作指标聚合。这种方法仅考虑了装备性能和规模数量,难以对体系的结构关系进行建模,一旦涉及体系结构的定量描述,就需借助专家知识,模型说服力较弱。二是整体性评估方法。其通过直接对体系整体特性的描述,建立对应的评估指标(有效复杂度、互操作性、自适应能力等)和模型。指标有时难获取、难理解是其主要不足,结果也难应用。但是这种方法为技术人员研究体系作战能力的整体规律提供了一种途径,因而目前也有大量研究并且还在发展。

基于以上理解,除第1章专门研究作战效能和作战能力的基本概念和意义以及后文总领以外,本书其余内容分作三篇。第一篇旨在提出解析与仿真相结合的体系作战效能建模与评估方法及作战效能的不确定因素分析方法;第二篇专门研究一种体系作战能力的整体性评估问题——连通性评估,提出基于矩阵谱范数和基于生成树的两种连通性评估方法;第三篇以防空反导装备体系为具体背景,提出基于效能的体系作战能力评估方法和模型。每篇配以相应示例,以便读者理解。

本书的主要贡献是体系作战效能与作战能力的概念、解析与仿真相结合的体系作战效能评估、体系作战效能不确定因素分析以及两种新的体系作战能力评估方法。第2章所讨论的实验设计方法多引自前人成果,虽重新组织语言、编写例子和作对比分析,但其理论方法非本书独立研究,是为保持内容的完整性而保留。本书没有详细阐述基础效能模型,一是因为其他文献中已有大量的战术级作战效能解析和仿真模型,能为本书所指基础效能模型的选用、适应性修改、新建等提供很好的基础,但不是本书的主要贡献;二是考虑篇幅原因。读者可以参考其他文献。

本书是作者所在课题组多年来在体系研究领域的部分成果总结,其中涉及到部分课题组成员的共同成果,他们分别是傅攀峰、穆富岭、赵焯、张会、张礼伟、张晓航、王骏等,张广涛同志为本书编辑提供了大量帮助。本书部分内容引用了本领域一些同行公开发表的研究成果,而且撰写过程中得到了国防科学技术大学信息系统与管理学院部分领导和同事的关心和帮助,在此一并表示感谢。

需要说明的是,出于保密考虑,示例中的数据都经过了处理,读者重在理解方法的思想本身,不必过于关注数据来源是否可信。由于作者水平有限,且本书涉及的理论方法均在不断发展中,难免存在不当和疏漏,敬请读者不吝指正。

罗鹏程

2014年5月于长沙

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概念辨析	2
1.2 研究意义与方法	4
第一篇 体系作战效能评估与分析	
第 2 章 想定样本空间生成的实验设计方法	8
2.1 正交设计	9
2.1.1 拉丁方设计	9
2.1.2 正交表	9
2.1.3 正交表的构造	11
2.1.4 正交设计的灵活应用	12
2.1.5 正交设计的特点及适用性	13
2.2 均匀设计	13
2.2.1 均匀表	14
2.2.2 均匀表的构造	15
2.2.3 均匀设计的灵活应用方法	17
2.2.4 均匀设计的特点及适用性	17
2.3 正交设计与均匀设计的对比分析	18
2.4 常用方法的选择	21
第 3 章 体系作战效能指标体系	24
3.1 体系作战效能指标体系的构成	24
3.1.1 作战过程分解和效能指标体系结构	24
3.1.2 作战效能指标的选取	26
3.2 作战效能指标聚合方法	29
3.2.1 同层次聚合	30
3.2.2 跨层次聚合	31
第 4 章 解析与仿真结合的体系作战效能建模与评估方法	32
4.1 作战效能模型分类与集成	32

4.2	基于事件流程图的作战过程建模技术	34
4.2.1	基本概念	35
4.2.2	事件发生规则	39
4.2.3	建模原则	41
4.2.4	仿真机制	42
4.3	解析与仿真相结合建模思路的特点	43
第5章	体系作战效能评估示例	45
5.1	作战想定	45
5.2	作战行动方案	47
5.3	作战过程建模	49
5.4	结果分析	50
第6章	体系作战效能不确定因素分析方法	53
6.1	关于因子筛选方法的讨论	54
6.2	Sobol 指数法的基本原理	57
6.3	Sobol 指数的计算	60
6.4	基于 Kriging 模型的 Sobol 指数求解	63
6.4.1	基本原理	63
6.4.2	Kriging 模型的构建	65
6.4.3	计算过程	70
6.5	方法的特点和适用性	73
第7章	体系作战效能不确定因素分析示例	74
7.1	示例概述	74
7.2	结果分析	76

第二篇 体系作战能力整体性评估——连通性

第8章	体系连通性	82
8.1	体系的有向图模型	83
8.1.1	体系结构产品	84
8.1.2	有向图模型	88
8.2	体系连通性评估的技术框架	90
第9章	基于矩阵谱范数的体系连通性评估方法	93
9.1	连通性矩阵的相关概念	93
9.2	连通性矩阵的构造方法	97

9.3	示例分析	101
9.3.1	体系连通性矩阵的构造	102
9.3.2	体系连通性分析	108
第 10 章	基于生成树的体系连通性评估方法	112
10.1	生成树的相关概念	112
10.2	生成树数量和及求解	114
10.3	节点信息交互策略分析	115
10.4	示例分析	117
第三篇 基于效能的体系作战能力评估		
第 11 章	体系作战能力指标体系	124
11.1	防空反导体系作战能力的基本类型	124
11.2	防空反导体系作战能力指标体系	127
第 12 章	体系作战能力的 SEM 建模与评估方法	131
12.1	技术框架	132
12.2	SEM 基础理论	133
12.2.1	SEM 简介及特点	133
12.2.2	SEM 基本原理和概念	134
12.3	防空反导体系作战能力评估模型	138
12.3.1	防空反导体系作战能力评估的 SEM	138
12.3.2	防空反导体系作战效能与作战能力的定量关系模型	140
12.4	体系作战能力的 SEM 建模与评估步骤	141
第 13 章	体系作战能力的 SEM 建模与评估示例	148
13.1	想定与方案设计	148
13.2	反 TBM 能力评估指标体系	151
13.3	反 TBM 能力评估的 SEM 的构建与识别	153
13.4	模型的参数估计与评估修正	154
13.5	反 TBM 作战能力指标求解及评估结论	157
参考文献		160

第1章 绪论

武器装备体系研究可以追溯到20世纪70年代末美军对有关武器系统集成问题的研究。虽然经过一段时间的发展,但对武器装备体系概念仍没有统一认识。文献中经常使用武器组合(Weapon Mix)^[1-4]、军事体系(Military System of Systems)^[5]、联合系统(Joint Systems)^[6,7]和武器体系(Weapon Systems)^[8]等多种术语来指代武器装备体系。

通常认为,武器装备体系是在军事战略思想的指导下,为完成作战任务而由功能上相互支持、性能上相互协调的各类武器装备或系统,按照一定结构综合而成的更高层次的武器装备系统。这是针对武器装备体系的一般意义给出的定义,在此基础上,可以进一步给出各种具体的武器装备体系的定义。例如,防空反导体系可以定义为根据防空反导的作战要求,在特定的地域,按照多层防线、多空域要求进行部署的,由各种在功能上相互联系、相互作用、性能上相互补充的具备防空反导功能的武器装备系统按照特定的结构综合集成的一类更高层次的防空反导武器装备系统。

目前,武器装备体系研究已成为系统工程和军事科学领域的前沿和热点。加之以20多年来在其他领域内体系研究的发展,体系工程(System of Systems Engineering)作为一门新的专业正在快速发展。研究武器装备体系的目的一般有三种:为装备发展论证服务;为型号的设计和研制服务;为作战方案优化或检验等服务。这都绕不开作战效能和作战能力两个基本概念。例如,应对哪些机种、机型进行立项研制?对新研机型的性能指标如何科学论证?各机种、各机型应按何种规模比例进行建设和配置?这都是装备建设论证中迫在眉睫的问题,急需采用体系作战效能、作战能力评估与分析的科学方法来解决。不无遗憾地说,很长时间以来,都没有对这两个概念做出清楚的区分,至少没有得到公认,一些研究中甚至是将其等同起来。但是随着研究的逐步深入,武器装备体系研究的脉络日渐清晰,这与对上述两个概念越来越透彻的理解也有莫大关系。

本章将基本概念的确立作为武器装备体系(以下简称体系)作战效能和作战能力研究之首要,对其定义、区别和联系进行深入的讨论和辨析,也作为下文三篇的总指导。

1.1 概念辨析

关于体系作战效能和作战能力评估方法的研究已广泛展开,然而在目前已有的一些成果中,出现了作战效能和作战能力概念的混淆。不能不说,这种情况对研究造成了一定程度的不良影响。本节的主要目的在于研究作战效能、系统效能和作战能力的基本概念及内涵,并理清作战效能和作战能力的定性关系。

在目前的研究中,多种效能和作战能力的定义并存。其中,效能主要包括三种:单项(指标)效能、系统效能和作战效能。在本书建立效能和作战能力的概念之前,首先列举一下目前常见的效能和作战能力的定义^[9-13]。其中,单项效能的概念比较明确,下文并未论述,读者可以参考文献[14,15]。

(1) 系统效能(System Effectiveness)。

① 美国工业界武器系统效能咨询委员会对系统效能的定义为:“预期一个系统满足一组特定任务要求的程度度量,是系统的可用性、可信性和固有作战能力的函数。”

② 美国军用标准 MIL - STD - 721B 中对系统效能的定义为:“产品能够预期完成一系列专门任务要求的程度的度量,它可以理解成有效性、可信赖性和作战能力的函数。”

③ 我国军用标准 GJB364—92 装备费用 - 效能分析中对系统效能的定义为:“在规定的条件下达到规定使用目标的作战能力。”

④ 我国军用标准 GJB451A—2005 可靠性维修性术语中对系统效能的定义为:“系统在规定的条件下和规定的时间内,满足一组特定任务要求的程度。它与可用性、任务成功性和固有作战能力有关。”

(2) 作战效能(Combat Effectiveness)。

我国军用标准 GJB364—92 装备费用 - 效能分析对作战效能的定义为:“在预定或规定的作战使用环境以及所考虑的组织、战略、战术、生存作战能力和威胁等条件下,由代表性的人员使用该装备完成规定任务的作战能力。”注意,这里也用能力来定义效能,未区分二者的概念。

文献[15]认为,作战效能是指特定的作战部队使用一定编制体制结构下的某一武器装备集合构成的作战系统,在执行作战行动任务中所能达到的预期可能目标的程度。简言之,即执行作战任务的有效程度。这种概念比较符合我们当前的认识。

(3) 作战能力(Combat Capability)。

作战能力的相关概念最初出现于美军的“基于作战能力的计划(Capabilities - based Planning, CBP)”^[11]。国内有关学者也围绕着作战能力的概念进行了大量

研究,从不同的侧面和着眼点来对其进行不同表述。尽管论点表述、研究对象都有所不同,但总体而言都是围绕火力、机动、指挥(信息)、电子对抗、生存等方面开展,并从这几个方面进行逐层分解以便具体、量化地研究。最权威并且沿用至今的关于作战能力定义,由美国 2005 年在参联会手册^[12]中提出,即作战能力是指“在特定的标准和条件下,通过能够执行一组任务的方法和手段的集成,达到期望效果的本领”(the ability to achieve a desired effect under specified standards and conditions through combinations of means and ways to perform a set of tasks)。这里所提到的方法指包括武器装备等在内物质基础,手段则是指发挥和运用这些物质基础的方式。

通过上述各种定义的分析,可得出以下几点结论:

(1) 作战效能与作战能力存在紧密联系。其主要区别在于,作战能力是一种固有属性,是一个静态的概念;作战效能是作战能力在面向某种威胁或对手、在某特定环境下、实施某一具体作战过程中的发挥与实现,是一个动态的概念。

(2) 作战能力概念中提到的“方法和手段”,是作战能力以及作战效能这两个概念的核心和出发点。“方法和手段”可以指“系统”或者“体系”。只要存在“方法和手段”,就蕴含着作战能力这个固有属性,而该固有属性在作战过程中的发挥和实现就是“方法和手段”的作战效能。因此从这个角度说,系统的作战能力和体系的作战能力、系统的作战效能和体系的作战效能在内涵上是基本相似的。

(3) “方法和手段”是由特定的作战威胁和期望的作战效果决定的。当作战威胁和期望的作战效果一定时,可能存在多种“方法和手段”即体系的组成方案;当作战威胁和期望的作战效果发生变化时,体系组成方案也会发生相应变化。

(4) 系统效能与系统作战能力这两个概念的内涵在一定程度上是相同的。这两个概念都强调在“特定条件”或“特定任务”、“达到一定的目标或效果”、“是一种本领或预期”,都是一个静态的反映系统本身属性的概念,是系统设计者的一种预期或系统本身具备的一种本领。因此,目前系统效能的评估方法都可作为系统作战能力评估方法来使用。最常见的系统效能评估模型有 ADC 模型等。

基于以上讨论,本书认为,体系作战效能是指体系实现特定作战任务目标的有效程度,即在给定威胁、条件、环境和作战方案下,体系完成任务的效果,是一个动态的概念;体系作战能力是指体系完成其使命任务的“本领”或潜力,是体系的整体特性和固有属性,是一个静态的概念。这里,体系作战能力是针对使命任务而言的,而非某一类或某一项具体的作战任务,即要求将体系作战能力作为一个整体的衡量,而不能以体系完成某一类作战任务的本领来衡量,那只能代表体系的某一方面作战能力。

体系的作战能力与武器装备的种类(品种)、数量(规模)、质量(战技性能)和结构关系(相互依赖、相互支撑和信息交联)有关;体系作战效能不仅与这些因素有关,还与作战条件、环境、作战方案以及对手武器装备、作战方案、打击目标等有

关。从这个意义上讲,作战效能与作战能力存在十分紧密的联系,即体系作战能力是体系的固有属性,是体系作战效能的基础,而作战效能是作战能力的发挥和外在实现^[16-18]。

1.2 研究意义与方法

体系作战效能和作战能力均可作为体系优化的目标,但如上所述,其概念有所不同。迄今,国内外大量开展了有关体系评估和分析的研究,但由于一些成果并未做出清晰界定,因此在如何选取指标、如何建立相应的理论方法、成果由谁使用和如何使用等问题上也必有混淆。这是当前很多成果难以实用的原因之一。

1. 作战效能与作战能力研究的意义

我们认为,通过体系作战效能评估可以预计或检验体系在特定条件下实现其作战目标的效果,或检验、优选作战方案等;通过体系作战能力评估可以了解体系对各类威胁和任务(涵盖其使命任务)的作战需求满足情况,从整体上把握体系建设的水平,也可为作战方案的制定提供关于装备使用的基础性指导。因此,评估体系作战效能和作战能力,并分别以它们为目标进行体系优化,对体系建设论证和作战方案制定均有重要意义。关于体系作战效能与作战能力研究意义的对比如表 1.1 所示。

表 1.1 体系作战效能与作战能力研究意义的对比

概念	内涵	评估的意义	优化的意义
体系作战效能	体系实现特定作战任务目标的程度,给定威胁、条件、环境和作战方案下任务完成效果。由装备性能、数量、结构和作战环境及作战过程等因素所决定,是一个动态的概念	预计或检验体系在特定条件下实现作战任务目标的效果;检验、优选作战方案	获得面向特定或某类作战任务的优化的体系结构
体系作战能力	体系完成使命任务(而非特定作战任务)的“本领”或潜力;体系的整体特性和固有属性。由装备性能、数量、结构等因素所决定,是一个静态的概念	了解体系对各类威胁和任务(涵盖其使命任务)的作战需求满足情况,从整体上把握体系建设的水平;为作战方案制定提供体系能力方面的指导	获得整体能力优化、应对各类作战任务的本领相对均衡的体系结构

2. 作战效能评估方法

作战效能评估大体可分为解析评估和仿真评估两类。解析评估易于突出主要因素对效能的影响关系,能够较清晰地反映效能与装备性能、规模等要素之间的相

互关系,而且运算量较小,能够很快得到结果,因而适用于高层次效能研究。确定性的、解析的评估方法在武器装备体系评估和分析中已得到了大量应用,并取得了一些颇有影响的结果。例如,美国兰德公司《恐怖的海峡》研究报告^[19]即用联合一体化应急作战模型(Joint Integrated Contingency Model, JICM)对台海双方冲突进行了模拟和分析,在此基础上形成了对美政府的相关政策建议。虽然如此,由于不能描述随机因素,进行解析评估时,作战过程模型就像事先设计好的、确定性的剧本,从而不能反映作战过程发展演化的随机性。所得结果中虽然有一些是具有概率性质的量值(如双方装备战损的期望值、突防概率等),但依然是通过预先设定的、确定的概率值作为基本输入来计算得到的,并未真正对作战过程的随机性进行建模。

建立基于作战过程的体系对抗模型并进行仿真,是目前研究体系作战效能的主要途径。国外成果主要有联合作战系统(Joint Warfare System, JWARS)^[20-22]和联合仿真系统(Joint Simulation System, JSIMS)^[20,23];国内的研究成果主要包括Sim2000柔性仿真系统^[24]等。在计算各层次作战效能指标时通常有两种思路:①仅运行战术活动模型,对其输出结果通过一定的方法聚合成更高层次上的体系作战效能指标;②分别运行各层次的模型,利用模型输出结果来计算相应层次上的体系作战效能指标。运算过程中,最底层的战术活动模型作为基础单元被上级各层次模型调用。相比而言,仿真评估可较全面地描述影响体系作战效能的诸多随机因素并能获得相对精细的结果,但运算量大、耗时多、参数调整较为复杂,且对军事作战和武器装备性能等方面细节知识的要求都很高。我们认为,仿真方法相对适于较低层次的作战效能研究。

另一方面,如果体系作战效能评估是在对特定想定进行作战实验的基础上进行的,则其结果并不能反映体系作战效能的一般规律,对体系的整体建设缺乏宏观指导意义。为此,需要在针对大想定集开展体系作战实验的基础上进行体系作战效能评估,但目前还缺乏生成具有代表性的想定样本空间的方法支持。

3. 作战能力评估方法

当前使用较多的体系作战能力评估方法有两类,即“分解-聚合”评估方法和整体性评估方法。

其中,“分解-聚合”评估方法首先通过对体系从火力、机动、生存、指控、电子对抗等方面的作战能力进行“分解”,建立各底层性能指标到体系作战能力的映射关系,根据该映射关系对底层性能指标进行聚合来对体系的作战能力进行综合评估。这种思想的基础是,体系的作战能力是体系中各型武器装备性能指标和数量的函数,其基本步骤是:首先,分析体系结构,建立体系作战能力的底层性能指标体系并与作战能力形成映射;其次,对指标体系中各指标进行规范化和归一化处理,依据特定准则对每个指标赋予确定的权重;再次,给出底层指标值的获取和解

算方法;最后,利用某种作战能力聚合模型将下层指标依据不同的聚合关系和数量自下而上聚合计算,得到体系作战能力评估的结果。读者所熟悉的加权和或加权积法、层次分析法以及价值中心法等都是“分解-聚合”法的典型代表。采用“分解-聚合”方法开展作战能力评估,以往已有大量研究^[25-31],但近年来已较少使用。

实际上,虽说体系作战能力由装备性能、规模数量、结构关系等因素决定,但这只是对作战能力的概念的定性认识,要直接利用这些因素来度量体系作战能力则难有说服力。这是“分解-聚合”方法的出发点,也是其严重不足。其中难点是如何对体系结构关系对体系能力的影响进行建模,即对造成复杂系统涌现性的结构效应难以刻画。因而这种静态方法需要过多地借助于专家知识,模型说服力弱。

整体性评估方法的思路与“分解-聚合”方法不同,其基本依据是:将体系视为一个高于系统层次的新对象,该对象既具有系统的一般特性,如共同的目标特性、底层作战能力的可聚合性等,也具有一些系统层次的对象所不具备的特征,包括结构的动态组合性、组成单元与系统的进化独立性、体系整体作战能力的协同增效特性和突现性,以及指挥控制的分布特性等。因此,整体性评估方法的基本思路是通过对体系这些整体特性的描述,建立对应的评估指标,如有效复杂度(Plecticity)、互操作性、自适应能力、“作战关键信息估计值”的质量等,并给出了相应的评估模型,进而对体系作战能力进行评估。其缺陷是,指标有时难以获取,或意义比较抽象、概括,难以被装备论证人员或军事人员所理解并指导实践。但是,由于避开了武器装备和军事作战的很多具体细节,从一个更高的角度来度量体系,整体性方法还是为技术人员研究体系作战能力的整体规律提供了一种技术途径,关键要在技术的基础上更好地服务于最终的定性理解和结论,以便用于指导装备论证和作战实践。整体性评估方法目前也有大量研究,并且还在发展^[32-43]。

实际上,按照前面对作战能力的概念的讨论,我们认为,体系在具有代表性的一系列作战任务中体现出的作战效能,能够反映体系完成其使命任务的“本领”或潜力的整体水平。因此,可以通过体系在上述作战任务集中获得的作战效能来综合、提炼体系的作战能力。这是在体系作战效能和作战能力研究的长期实践中总结提出的一种新思路。其主要思想是,基于针对大想定集开展体系作战实验获得体系作战效能评估数据,在研究体系作战效能与作战能力指标定性关系的基础上,将该定性关系转换为定量关系模型,进而对体系的作战能力进行评估。建立体系作战效能与作战能力指标之间的定量关系模型是这种方法的核心。

基于以上理解,以下将分三篇对体系作战效能和作战能力评估方法进行论述。第一篇将论述体系想定样本空间生成的实验设计方法,给出体系作战效能指标体系的构成及聚合方法,提出解析与仿真相结合的体系作战效能建模与评估方法以及作战效能的不确定因素分析方法。第二篇针对一种体系作战能力的整体性评估

方法(连通性评估)进行阐述,包括体系连通性的概念及度量连通性的体系有向图模型、体系连通性评估的技术框架,以及基于矩阵谱范数和基于生成树的两种连通性评估方法。第三篇重点研究基于效能的体系作战能力评估方法,以防空反导装备体系为具体背景,提出了这种评估方法的技术框架,建立了网状结构的体系作战能力指标体系以及体系作战效能与作战能力指标之间的量化关系模型,提出了基于结构方程模型的体系作战能力评估模型。每一篇都给出了相应的应用示例,以便读者理解。所用数据都经脱密,读者重在理解方法的思想本身,不必对数据来源过多关注。

第一篇 体系作战效能评估与分析

第2章 想定样本空间生成的实验设计方法

作战想定是体系作战效能评估的基础,其中涉及到交战双方大量的武器装备及配置和使用方案,其参数包括装备数量、装备类型、性能参数(战技指标)、部署以及相关战术参数等。在面向效能和能力分析的体系(仿真或解析)实验中,上述参数即实验参数,其所有可能取值的组合将构成一个作战想定参数集,称为想定样本全空间。全空间是一个规模庞大的参数空间,例如,假设有 n 种装备投入作战,某次实验的目的是研究这些装备各一项性能参数对作战结果的影响,而且这些参数各有 m 种可能取值,则该想定样本全空间将包括 m^n 个实验样本(参数值的组合集)。要对全空间进行实验研究往往是不必要的,从工作量上讲,也不现实。比较好的做法是,从上述全空间中选出部分样本,构成用于实验的想定样本空间,作为体系作战效能和作战能力分析及体系优化所需的参数集和体系仿真或解析实验方案。

为此,需选取对作战效能和作战能力有显著影响的实验参数,对想定样本全空间进行压缩,生成有效的实验样本集。如何在保证想定样本的代表性以及实验有效性的前提下,生成有效的实验样本,这是作战效能和作战能力评估与分析必须解决的一个关键技术问题。想定样本空间生成的目的是获得规模可接受的用于实验的想定样本空间,从而为作战效能、作战能力计算提供具有代表性的用于仿真或解析实验的想定样本集。其基本方法是实验设计(Design of Experiments, DOE),即如何合理地选择实验参数取值组合的样本,使实验次数较少而得到有效的实验分析结果。

实验设计方法是数理统计学的一个分支,是研究如何制定实验方案,以提高实验效率,并使实验结果能有效地进行统计分析的理论和方法。实验设计方法有很多,本章将只简要地介绍正交设计和均匀设计,均来自于已有文献,非本书的独立研究成果。读者若关心这些方法的细节或需要了解其他方法,可以参考有关实验设计的著作^[24,45-47]。

正交设计是采用正交性原理,从大量的参数空间中选出适量的、具有代表性的

样本,以解决多实验因素形成庞大参数空间问题的样本或实验方案生成的方法,具有实验样本少,实验点分布均匀、整齐以及支持交互作用分析等特点。均匀设计着重考虑在整个实验区域内均匀地分布实验点,以求通过最小的实验点获得最多的信息。与正交设计相比,均匀设计仅考虑实验点的“均衡分散性”,具有实验样本少、实验点有代表性等特点。

2.1 正交设计

正交设计是采用正交性原理,从大量的参数空间中选出适量的、具有代表性的样本,以解决多实验参数形成庞大参数空间问题的样本集或实验方案生成方法。正交设计是部分因子设计的主要方法,具有很高的效率及广泛的应用。它是在拉丁方设计以及超拉丁方设计的基础上进一步发展而来的。

2.1.1 拉丁方设计

拉丁方设计要求各实验参数的取值个数都相等,且等于各参数值的重复次数。其实验方案通常以方阵的形式表现,如图 2.1 所示,虚线内方阵即实验方案。

	Y1	Y2	Y3	Y4
X1	A	B	C	D
X2	D	A	B	C
X3	C	D	A	B
X4	B	C	D	A

图 2.1 4×4 标准型拉丁方

图 2.1 中,字母 X 和 Y 分别代表两个实验参数,均有 4 个取值。字母 A、B、C、D 分别表示另一个实验参数 Z 的 4 个取值,且方阵中每一个元素表示一个实验样本。例如,对于第一行第一列的字母“A”,其表示 X 取值为 X1,Y 取值为 Y1,Z 取值为 A 时的实验样本。观察图 2.1 可知,每个参数的不同参数值均重复 4 次,且每一行或每一列中,各字母均只出现一次,故共有 16 个实验样本。

当实验参数超过 3 个时,拉丁方设计无法进行,就需要采用超拉丁方设计。其原理与拉丁方设计类似,不再赘述。

2.1.2 正交表

通过改进拉丁方设计和超拉丁方设计,正交设计对实验参数个数及参数值个数的要求更宽松,能够处理具有更多实验参数及参数值的情况。正交设计的基本