

● 军事运筹学丛书 ●



作战模型与模拟



凌云翔 马满好 袁卫卫 等编著

国防科技大学出版社

• 军事运筹学丛书 •

作战模型与模拟

凌云翔 马满好 袁卫卫
黄光奇 张耀鸿 曾 熠 编著

国防科技大学出版社
• 长沙 •

内容简介

作战模型与模拟是应用一定的模型进行模拟作战实验,以揭示军事活动规律的过程。该书论述了军事活动中模型的建立与模拟开展,主要研究作战模拟概念、模型基础和作战模拟应用实践,具有前瞻性、实践性和创新性等特点。全书共分12章,第1~8章为“基础篇”,对作战模拟系统组成、作战环境、典型装备模型和作战行动计算以及模拟方法做出阐述;第9~12章为“应用篇”,从当代建模仿真技术框架、作战模拟系统设计与实验开展到作战模拟案例,论述了作战模拟的军事应用实践。

本书可作为相关专业研究生和本科生课程的教材,亦可作为从事战争模拟、战术演练和武器装备论证研究科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

作战模型与模拟/凌云翔等编著. —长沙:国防科技大学出版社,2006.10
ISBN 7-81099-376-3

I. 作… II. 凌… III. 作战模拟 IV. E83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 108046 号

国防科技大学出版社出版发行
电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:耿筠 责任校对:肖滨

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本:787×960 1/16 印张:22 字数:431 千
2006年10月第1版第1次印刷 印数:1-2000册

*

ISBN 7-81099-376-3/E·11

定价:35.00 元

前 言

作战模型与模拟是军事学科中一门重要的基础课程。作战模拟的相关研究立足于军事运筹学知识和计算机模拟、仿真技术在军事技理层的扩展和应用,是军事研究领域不可替代的方法和工具。

国防科技大学作战模型与模拟的教学与研究始于 20 世纪 80 年代初,其特色是紧密结合武器装备作战效能分析与论证、高技术局部战争的研究,注重结合我校的特点和综合优势,侧重于军事运筹理论与方法、高技术作战模型与仿真的研究,在国内具有很强的优势,也取得了一批高水平的研究成果。该课程从 1995 年开始设立,主要面向军事学、管理科学与工程、控制科学与工程等专业的学历教育研究生和指挥类工程硕士研究生以及部分本科生。

《作战模型与模拟》一书是论述军事活动中模型建立与模拟开展的著作,主要研究作战模拟概念、模型基础和作战模拟应用实践,具有前瞻性、实践性和创新性等特点。全书共分 12 章,第 1~8 章为“基础篇”,对作战模拟系统组成、作战环境、典型装备模型和作战行动计算,以及模拟方法做出阐述;第 9~12 章为“应用篇”,从当代建模仿真技术框架、作战模拟系统设计与实验开展到作战模拟案例,论述了作战模拟的军事应用实践。该书在编写过程中,既充分借鉴了国内外专家学者在作战模拟领域的先进研究成果,又十分注重内容的新颖性,增加了以指挥信息系统为代表的部分电子信息装备模型、作战行动描述,以及当前热门的最新建模仿真技术。在内容实用性方面,紧密结合军事科研项目,阐述了作战模拟系统的设计、开发与实验开展。能为从事战争模拟、战术演练和武器装备论证研究的同仁提供一点技术参考,亦即达到作者的最大心愿!

国防科技大学研究生院为本书的编写出版提供了专项资金,在此深表感谢!

本书在编写过程中参考和引用了大量文献,本书的完成离不开这些文献作者们在该领域多年的辛勤耕耘和原创性的工作,在此表示深深的谢意! 历届选修本课程的研究生们为本书编写提供了大量有价值的素材,在此一并表示感谢!

凌云翔

2006年9月

目 录

第 1 章 绪 论

1.1 作战模拟的定位	(1)
1.1.1 军事领域研究的层次划分	(1)
1.1.2 军事领域各研究层次之间的关系	(2)
1.1.3 作战模拟研究的位置	(3)
1.2 作战模拟发展简史	(4)
1.3 作战模拟现状与发展趋势	(7)
1.4 模型和模拟	(11)
1.4.1 模型	(11)
1.4.2 模拟	(13)
1.5 作战模型和作战模拟	(13)
1.5.1 作战模型的分类	(14)
1.5.2 作战模拟的分类	(14)
1.5.3 作战模拟的共同特征	(16)
1.5.4 作战模拟的基本条件	(17)
1.5.5 作战模拟的基本过程	(18)
1.6 作战模型集成	(18)
1.6.1 作战模型规范化	(18)
1.6.2 作战模型集成	(19)

第 2 章 作战模拟系统的组成

2.1 作战模拟的基本组成	(20)
2.1.1 作战模型的一般构成	(20)
2.1.2 作战模拟的基本组成	(21)

2.1.3 作战模拟的基本过程	(24)
2.2 作战模拟系统的结构	(25)
2.2.1 直接模拟系统	(25)
2.2.2 交互式对抗模拟系统	(25)
2.2.3 决策支持作战模拟系统	(27)
2.3 作战模拟系统的研制	(28)
2.3.1 研制方法	(28)
2.3.2 主要工作	(28)
2.3.3 对作战模拟系统的主要功能要求	(31)

第3章 作战环境的定量描述

3.1 战场气象条件的定量描述	(34)
3.2 陆战场描述及其量化方法	(37)
3.2.1 描述陆战场的主要参数	(37)
3.2.2 陆战场描述的定量方法	(38)
3.2.3 地形量化方法的使用分析	(50)
3.3 海战场的描述及海战场描述的定量方法	(51)
3.3.1 海战场地形的模拟	(51)
3.3.2 海况条件的模拟	(53)
3.3.3 水文要素的描述	(55)
3.4 3S集成	(57)
3.4.1 GIS与RS的集成	(58)
3.4.2 GIS与GPS的集成	(60)
3.4.3 GPS与RS的集成	(61)
3.4.4 GIS、GPS与RS的集成	(61)

第4章 军兵种作战模型概述

4.1 航空兵作战模拟	(62)
4.2 舰艇编队作战模拟	(63)
4.3 对战术弹道导弹的防空拦截模拟	(65)
4.4 航天侦察能力模型	(68)

4.4.1 基本概念	(68)
4.4.2 航天侦察系统能力评估模型	(70)

第5章 指挥信息系统模型

5.1 指挥信息系统建模仿真特点	(76)
5.1.1 指挥信息系统建模仿真的意义	(76)
5.1.2 指挥信息系统开发中的问题及指挥信息系统仿真	(78)
5.1.3 指挥信息系统模型的基本要求	(78)
5.1.4 指挥信息系统建模仿真特点	(79)
5.1.5 指挥信息系统建模框架	(82)
5.2 指挥信息系统本征模型	(83)
5.2.1 面向实现的指挥信息系统模型	(83)
5.2.2 面向过程的指挥信息系统模型	(84)
5.2.3 面向对象的指挥信息系统模型(C^2 参考模型)	(88)
5.3 指挥信息系统派生模型	(90)
5.3.1 指挥信息系统模型体系	(90)
5.3.2 指挥信息系统的主要数学模型	(93)
5.4 指挥信息系统评估模型	(94)
5.4.1 评价指标	(94)
5.4.2 评价框架	(95)
5.4.3 常用的效能评估方法	(99)

第6章 典型作战行动的描述

6.1 机动过程描述	(101)
6.1.1 作战单位的机动类型和速度	(101)
6.1.2 机动模型的建模与假设	(104)
6.1.3 给定节点坐标和到达节点时间时的机动计算	(105)
6.1.4 给定节点坐标和机动速度时的机动计算	(106)
6.2 目标发现过程描述	(109)
6.2.1 通视性与通视率	(109)
6.2.2 搜索与侦察	(112)

6.3	作战保障过程描述	(116)
6.3.1	道路分队作业效率计算	(116)
6.3.2	桥梁分队作业效率的简易计算	(117)
6.4	电子战描述	(118)
6.4.1	通信对抗战斗效能分析	(119)
6.4.2	电子对抗对雷达效率的影响	(120)
6.5	信息战模型描述	(122)
6.5.1	信息战的 Lanchester 方程一般形式	(122)
6.5.2	依赖于己方已知信息的 Lanchester 方程	(124)
6.5.3	依赖于己方已知信息和对方未知信息的 Lanchester 方程	(124)
6.5.4	依赖于己方已知信息和对方已知信息的 Lanchester 方程	(124)
6.5.5	情报增长正比于对方未知情报信息和我方已知情报信息的 Lanchester 方程	(125)

第7章 作战模拟系统中的战斗损耗计算

7.1	兰切斯特算法	(126)
7.1.1	兰切斯特线性律	(127)
7.1.2	兰切斯特平方律	(132)
7.1.3	兰切斯特方程的其他形式	(144)
7.2	蒙特卡洛算法	(145)
7.2.1	蒙特卡洛法的概述	(146)
7.2.2	随机数和伪随机数	(149)
7.2.3	随机变量抽样	(154)
7.2.4	随机事件的模拟	(159)
7.2.5	效率指标和模拟精度	(163)
7.3	指数法	(166)
7.3.1	战斗效能指数	(167)
7.3.2	指数的产生	(174)
7.3.3	战斗效能的定量判定	(181)
7.3.4	指数方法的军事应用	(183)

第 8 章 经典模拟方法与实现

8.1 离散事件系统模拟	(186)
8.1.1 离散事件系统模拟的基本概念	(187)
8.1.2 离散事件系统模拟的模拟策略	(189)
8.1.3 离散事件系统模拟程序的基本结构	(192)
8.1.4 Petri 网建模模拟方法	(193)
8.2 连续系统模拟	(205)
8.2.1 数值积分法的基本原理	(206)
8.2.2 欧拉(Euler)法	(208)
8.2.3 梯形法	(209)
8.2.4 龙格库塔(Runge - Kutta)法	(211)
8.3 面向对象的模拟方法	(213)
8.3.1 基本概念	(214)
8.3.2 作战模拟对象模型的分类	(214)
8.3.3 基本过程	(216)

第 9 章 当代建模仿真技术框架

9.1 概述	(217)
9.2 任务空间概念模型(CMMS)	(218)
9.3 分布交互仿真(DIS)	(223)
9.3.1 分布交互仿真技术协议的发展阶段	(223)
9.3.2 DIS 存在的不足	(226)
9.4 高层体系结构(HLA)	(227)
9.4.1 HLA 框架	(227)
9.4.2 HLA 核心——RTI 的结构功能剖析	(230)
9.4.3 联邦设计与执行过程(FEDEP)	(233)
9.5 校核、验证和确认(VV&A)	(234)
9.5.1 什么是 VV&A?	(234)
9.5.2 VV&A 的实施过程	(235)
9.5.3 VV&A 技术	(239)

9.5.4 数据校核、验证和认证(VV&C)	(241)
9.6 最新建模与仿真技术	(242)
9.6.1 仿真网格技术	(242)
9.6.2 MDA 技术	(245)
9.6.3 XMSF 技术框架	(246)

第 10 章 作战模拟系统设计

10.1 军事需求分析	(247)
10.2 军事总设计	(249)
10.2.1 军事框架设计	(250)
10.2.2 作战设计	(253)
10.2.3 仿真想定设计	(256)
10.2.4 作战实体描述	(260)
10.2.5 作战过程描述	(261)
10.3 技术总体设计	(262)
10.3.1 技术总体设计	(262)
10.3.2 模型设计	(265)
10.3.3 程序设计和测试	(269)
10.3.4 系统检验和完善	(271)

第 11 章 仿真实验设计与分析

11.1 仿真实验设计框架	(272)
11.1.1 部分分析	(272)
11.1.2 系统对象分析	(274)
11.1.3 指标选取	(274)
11.1.4 指标分析	(275)
11.2 指标体系分析与设计	(276)
11.2.1 指标体系框架	(277)
11.2.2 指标的量化分析	(280)
11.2.3 指标的相关性分析	(283)
11.3 实验数据分析方法	(287)

11.3.1 数据处理与指标计算	(287)
11.3.2 实验分析方法	(289)
11.3.3 效能分析方法	(295)

第 12 章 作战模拟系统与应用

12.1 联合作战仿真系统 JWARS	(298)
12.1.1 JWARS 系统概况	(298)
12.1.2 JWARS 系统设计与构件	(302)
12.1.3 JWARS 问题域	(303)
12.1.4 JWARS 仿真域	(307)
12.1.5 JWARS 平台域	(308)
12.1.6 JWARS 系统问题与局限	(309)
12.2 联合仿真系统 JSIMS	(310)
12.2.1 JSIMS 的历史沿革	(310)
12.2.2 JSIMS 项目开发管理体制	(311)
12.2.3 JSIMS 应用领域	(311)
12.2.4 JSIMS 功能设计	(311)
12.2.5 JSIMS 体系结构	(313)
12.2.6 JSIMS 模型框架	(314)
12.2.7 通用组件模拟引擎	(325)
12.2.8 软件结构	(326)
12.3 联合合成作战空间 JSB	(327)
12.3.1 JSB 的设想	(327)
12.3.2 JSB 的一体化框架	(328)
12.3.3 JSB 试验	(333)
参考文献	(338)

第 1 章 绪 论

新的世纪,以信息技术为核心的高新技术在军事领域的广泛应用,带来了高新技术武器的发展,带来了指挥、控制、通信、情报一体化的 C³I 系统的发展,带来了以信息技术为主要特征的新军事革命的蓬勃发展,也必然引起军队作战指挥、作战方式甚至战略思想的重大变化。正如恩格斯所说:“一旦技术上的进步可以用于军事目的,它们便立即几乎强制地,而且往往是违反指挥员的意志而引起作战方式上的改革甚至变革”,“每个在战史上因采用新的办法而创造了新纪元的伟大的将领,不是新的物质手段的发明者,便是以正确的方法运用他以前所发明的新手段的第一人。”

今天,军事家们很难完全用过去的战争经验来指导新的战争。处在这样一种军事技术急剧变革的时代,军队建设面临着严重的挑战。一个突出的问题是:如何使军队在和平时期紧紧跟上这种变革的步伐,使军事指挥和参谋人员具有指挥、控制、协调多军兵种在扩大的战场上快速、有效地进行联合作战的能力,即掌握驾驭现代战争的能力,以避免一场新的战争开始之后,由于不适应作战方式的变化而不得不付出巨大的代价。解决这一重大课题的有效途径之一就是发展和应用作战模拟技术。

1.1 作战模拟的定位

1.1.1 军事领域研究的层次划分

随着高技术的发展和新军事变革的兴起,军事技术的作用越来越大,而军事艺术的展现则很难找到时机,实践表明,二者相结合、互相补充的战争模式愈显突出。通常,偏向军事理论主导的研究人员和作战人员把军事领域的研究划分为战略研究、战役研究、战术研究、技术研究四个层次。然而,在今天这种高技术支撑的军事体系中,按照以上层次划分已经很难感受到技术力量的震撼作用。这里为了方便研究,试探性地把对军事领域的研究和发展分为四个层次:哲理层、论理层、数理层和技理层,框架如图 1.1 所示。

(1)哲理层是指对军事领域的方法论、认识论、思维方式、基本思想等的研究,主要包括军事哲学、辩证法、军事思想等;

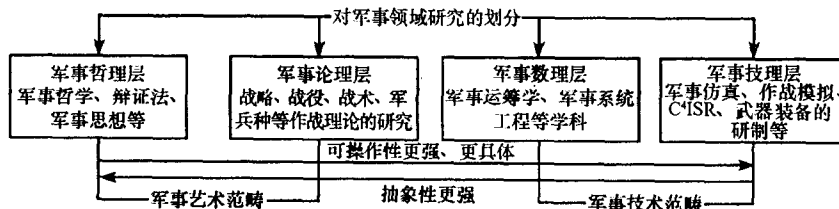


图 1.1 军事领域研究的四个层次

(2)论理层是指对指挥决策、军事行动、作战方式、基本原则、兵力运用、军队建设等军事理论的研究,主要包括战略、战役、战术理论原则以及军兵种各作战理论的研究;

(3)数理层是指自然基础科学与军事原理原则、作战行动结合产生的军事数理科学的研究,包括军事运筹学、军事系统工程学等;

(4)技理层则是指应用科学,如计算机技术、机械工程等在军事领域的应用,包括近年来兴起的指挥控制网络、C⁴ISR、军事仿真技术、作战模拟技术及武器装备的研制等一系列技术在军事领域中的应用。

其中,对哲理层和论理层知识的巧妙运用可以用来解释军事艺术的产生,对数理层和技理层知识的运用则偏向于军事技术范畴。

1.1.2 军事领域各研究层次之间的关系

在研究问题时,有时候追求一种普遍适用的方程模式,即探讨“对于所有的 x 而言,是否存在 $P(x)$,使 x 满足 $P(x)$ 。”对于军事领域研究的四个层次之间的关系,同样可以用类似的方法进行探讨。

如果用 Ph (philosophy)、 Pr (principle)、 M (mathematics)、 T (technology) 分别表示哲理层次、论理层次、数理层次、技理层次的研究,用 MR (military research) 表示军事领域研究,则可以把它们相互联系起来,即: $MR = Ph \cup Pr \cup M \cup T$ 。据此可以建立一个四维坐标系,任何一个军事领域的研究都可以看作坐标系中的一个向量 MR_0 ,表示为:

$$MR_0 = MR|Ph + MR|Pr + MR|M + MR|T$$

式中, $MR|Ph$ 、 $MR|Pr$ 、 $MR|M$ 、 $MR|T$ 分别表示 MR_0 在这四个坐标轴上的投影,可以很方便地得出一个军事课题、某方面的军事研究属于其中的哪一维,或者是与军事领域根本无关,同时也可以得出某一位军事专家在哪一方面更突出,如图 1.2 所示。

对于军事问题的研究,一般是从定性分析走向定量研究,从哲理层走向技理

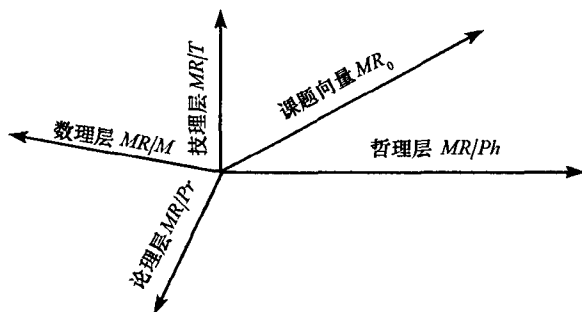


图 1.2 研究向量示意图

层,即哲理层次(Ph) $n \rightarrow$ 技理层次(T) n 。这里 n 表示军事问题的层次。通过对不同层次的军事问题和同一军事问题的不同层次进行探研,可以得出四个研究层次之间的关系。每一个军事领域新的研究方向的出现,都是因为在最基础层次上的模型和技术无法解决现实困境而被诱导出来的,即技理层次(T) $n \rightarrow$ 哲理层次(Ph) n 。即如果第 n 层次上的数理分析出现局限的时候,就会要求在更高层次(第 $n+1$ 层)上的论理突破;第 n 层次上的论理分析出现局限的时候,就会要求在更高层次(第 $n+1$ 层)上的哲理突破。举例说明,第一次世界大战中,从技术手段和数理论证上,德军的潜艇已经无法对付盟军的航母舰队,后来催发了新的论理层次的突破,即二战中德军潜艇“狼群战术”运用的产生。

不难看出,军事问题研究四个层次的发展关系为:哲理(Ph) $n \rightarrow$ 论理(Pr) $n \rightarrow$ 数理(M) $n \rightarrow$ 技理(T) $n \rightarrow$ 哲理(Ph) $n+1 \rightarrow$ 论理(Pr) $n+1 \rightarrow$ 数理(M) $n+1 \rightarrow$ 技理(T) $n+1 \rightarrow \dots$ 。

1.1.3 作战模拟研究的位置

战争的最大特点在于它的不可重复性,过去的不可重复,未来的不能预演。因此,战争过程的模拟就成为人们研究战争的重要方法。作战模拟的相关研究,则是立足于军事运筹学知识和计算机模拟、仿真技术在技理层的扩展和应用。从计算机技术出现以来,作战模拟就很快成为军事研究领域不可替代的工具,而计算机仿真技术与军事行动的结合则产生了作战模拟这一重要课题和手段。它处于军事研究领域的技理层,并且在其中起到了支撑作用,成为研究军事问题的重要方法。

作战模拟是指运用各种手段,对作战环境、作战行动和作战过程进行模仿的技术、方法和活动。

作战模拟是对作战活动的一种相似性复现,是研究军事活动中数量关系的基本方法,它揭示了军事活动中的量变过程,发现由量变到质变的界限,与定性研究

相辅相成。

关于作战模拟的作用,钱学森同志曾经作过精辟的论述。他说,作战模拟方法“实质上提供了一个作战实验室,在这个实验室里,利用模拟的作战环境,可以进行策略和计划的实验,可以检验策略和计划的缺陷,可以预测策略和计划的效果,可以评估武器系统的效能,可以启发新的作战思想。”他指出,作战模拟技术是“军事科学研究方法划时代的革新”,“在当前非常庞大而又极为复杂的军事工作中是有重要的位置的,因而它是一支现代化军队所必须掌握的。”

作战模拟的方法很多,按抽象程度可分为军事演习、沙盘作业、图上作业、计算机模拟和分析模拟等。通常所说的现代作战模拟,是指运用系统的观点和运筹学的方法,以计算机为工具,采用现代化的模拟技术来研究现代战争的组织指挥、作战训练,揭示军事活动规律的计算机作战模拟。

现代作战模拟技术是建立在相似理论、计算机技术、控制理论、系统工程、运筹学等基础上的一门崭新的学科,既是许多科学技术的交叉点,又是军事、技术、系统工程的汇集点。它利用能够重复的模拟作战条件,对部队的机动、作战过程、毁伤结果、指挥控制等进行模拟“实验”,在战略规划制定、武器系统的论证、作战训练以及军事学术等方面都具有十分重要的应用价值。

以信息技术为核心的计算机作战模拟技术是现代科学技术飞速发展的产物,也是实现军队现代化的必需。它不仅是军事训练手段的变革,而且正日益成为决策评估、论证和指挥训练的一种崭新的方式。正因为如此,计算机作战模拟技术引起了国内外广大科研人员和军事人员的密切关注,并在军事领域内发挥越来越重要的作用。

1.2 作战模拟发展简史

战争的最大特点是它的不可重复性:过去的不能复现,未来的不能预演。因此,战争过程的模拟就成为人们研究战争的重要方法。

可以说,自有战争以来,指挥官们便开始了作战过程的模拟,只不过因时代的不同,采用的模拟方法不同而已。

1. 思维模拟——智力推演模拟

作战过程的模拟具有悠久的历史。早期的作战过程模拟是通过人们的思维活动来实现的,一些战争中的指挥官运用自己的经验和对情况的判断,针对敌人可能采取的行动和自己的兵力部署,想像出在对抗中的战场画面,从而不断修改完善自己的作战方案,最后定下作战决心。这就是古代作战中,指挥官们对作战过程所进

行的思维性模拟形式——智力推演。无论是在古代的小说中,或者是在兵书中,都能看到古代军事家们在这方面的杰作。

我国是有着光辉文化史的文明古国,在我国历史上曾出现过许多大军事家,其中突出的代表就是孙武。他根据长期的考查和实践,写出了驰名中外的不朽的军事哲学著作《孙子兵法》。他的军事思想至今仍为世界上许多大军事家所推崇,具有很深刻的现实意义。事实上,他关于战争规律的论述,都是通过对过去战争经验的总结和自己的思维活动,按不同的战争条件推演了作战过程后所得到的。可以说,他是军事史上最早运用模拟的思想方法去研究战争规律的杰出军事家。

作战过程模拟真正成为一门科学,主要归功于普鲁士人冯·莱斯维茨父子。从1811年到1827年的十几年中,正是由于他们父子卓越的工作和努力,作战模拟活动才在军队中获得了稳固的立足点,才真正成为作战训练的一种手段。

首先是冯·莱斯维茨,把广泛流传于军队和民间的战争游戏和棋戏,改制成更接近于实际的形式,进行对阵表演,从而形成一种可模拟作战过程的新式游戏。

冯·莱斯维茨的儿子约翰·冯·莱斯维茨,在其父工作成果的基础上,依据作战中的军事经验拟定了一系列的对阵规则,并把时间观念引入作战模拟棋戏,从而使其变成能表现实际战斗的有用形式,成为作战模拟的真正发明者。在1824年前后的几年中,这种方法在普鲁士军队中得到大范围的推广和应用,成为训练军队指挥官的有效方法和手段。这是作战模拟思想和方法的正式起源。

2. 沙盘模拟

随着兵器的进步,战争规模的扩大,指挥官仅仅靠从逻辑上进行智力推演已不能满足作战研究的需要,于是产生了沙盘对抗的模拟方式。19世纪对阵式沙盘模拟已基本能实现对实地的复现,开始广泛地应用于军事训练和作战指挥。测绘技术的出现与发展,使指挥官可以直接在地图上通过图上作业这一形式进行分析研究,推演战斗决心、战术思想。

由于现代战争作战地域开阔复杂,因而无论指挥官们选择的位置多么合适,都难以观察到整个战场上的作战态势。作战研究、作战决心仅仅用指挥官的思维模拟难以全面展开。为了研究和讨论作战过程,制定作战计划,人们把作战地幅与地貌按一定比例缩小后用沙盘表现出来,用各种标示器代替敌我双方的兵力部署,以人工移动各种模型代替部队的机动,从而使作战过程得到演示。这种形式的模拟称为沙盘模拟,图上作业和兵棋对抗是沙盘模拟的抽象。

3. 实兵演习

在思维模拟和沙盘模拟发展的同时,战争过程的模拟还有另外一种实用形式