

国家“九五”重点图书

高科技与工程计算丛书

# 作战模拟 理论与方法

王可定 编著



国防科技大学出版社

高科技与工程计算丛书

# 作战模拟理论与方法

王可定 编著

国防科技大学出版社

·湖南长沙·

## 图书在版编目(CIP)数据

作战模拟理论与方法/王可定编著. —长沙:国防科技大学出版社,1999.10

(高科技与工程计算)

ISBN 7-81024-567-8

I. 作… II. 王… III. 作战模拟 IV. E83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(99)第 32594 号

国防科技大学出版社出版发行  
电话(0731)4555681 邮政编码:410073  
E-mail: gfkdcbs@public.cs.hn.cn  
责任编辑:卢天颢 责任校对:黄 煌  
新华书店总店北京发行所经销  
国防科技大学印刷厂印装

\*

850×1168 1/32 印张:14.5 字数:364千  
1999年10月第1版第1次印刷 印数:1—1000册

\*

定价:25.00元

## 序

作战模拟就是对武器系统和作战系统的结构、功能与行为以及参与系统控制的人的思维过程和行为进行比较逼真的动态的类比与模仿。作战模拟被认为是近年来军事科学研究方法划时代的重大革新。在军事理论与学术研究、战略分析与规划、辅助高层领导人战前战略决策和辅助指挥员进行战役与战斗决策等诸多方面,作战模拟得到了极其广泛的应用,并已成为作战系统分析、研究及人员训练不可缺少的手段。美国国防部将建模与仿真技术列为关键技术之一,将作战模拟技术视为“继续保持一支既经济,而技术上又有优势的部队”的保证。作战模拟技术和计算机技术的迅速发展,使得作战模拟系统正在以全新的面貌出现,不仅具有军事效益,也具有重大的经济效益。

我国在作战模拟研究与应用方面,军事运筹学学者和军事专家们做了大量工作,同样有许多令世人瞩目的研究成果。王可定同志在多年的科研和近十年指导军事运筹学研究生的工作当中,对作战模拟有了较深入的研究。《作战模拟理论与方法》就是他在多年的科研成果和研究生教学心得的基础上编著而成的。此书汇集与精炼了国内外大量以往与最新的成果,是一本比较系统全面、理论基础深厚、有体制改革创新的专著,选列的例子注意了理论密切结合实际。国防科技大学出版社已将该书列入“九五”国家重点图书出版规划的《高科技与工程计算丛书》。我想,这本专著的出版对我国作战模拟研究与教学会产生它应有的影响。

中国工程院院士 钱七虎

1998年11月30日

## 内容提要

利用作战模拟技术来研究作战问题,是军事科学研究方法划时代的重大革新.世界上各发达国家都十分重视作战模拟的研究和应用,为跟上世界各国的作战模拟研究的发展,进一步推动我国在作战模拟领域应用,军事系统工程委员会曾把作战模拟定为学术会的主题.

本书是作者在多年研究生教学的心得和科研成果的基础上编著而成的,基本内容包括:作战模拟概念及模拟基础理论(第一至四章),战场环境与典型战斗行动描述(第五、六章),战斗动态方程(第七章),指数法与定量判断模型(第八章),作战系统动态学方法(第九章),统计试验模拟方法(第十章),计算机作战模拟(第十一、十二章),合成战斗(战役)模拟实例(第十三章)以及作战模拟展望(第十四章)等,并附有若干作战模拟基础数据、典型战斗模型框图和程序以及有关数学公式和数表.

本书适用于军事运筹学、指挥自动化专业及有关专业本科生及研究生的教学,并可供有关专业的科研人员参考.

## 前 言

自 20 世纪 50 年代以来,美国、前苏联、北大西洋公约组织和以色列,都十分重视作战模拟技术的研究和应用。美国现已有了数以千计的计算机作战模拟模型,所模拟的战斗规模,从班、排直到师、集团军。专家们认为,利用作战模拟技术来研究作战问题,已是军事科学研究方法划时代的重大革新。现代作战模拟已获得了极其广泛的应用。美国国防部将建模与仿真技术列为 21 项关键技术的第六项,可见其重视程度。美国将作战模拟技术视为“继续保持一支既经济,而技术上又有优势的部队”的保证。

我国从 80 年代初掀起了研究作战模拟技术的热潮以来,各军兵种的科研单位和院校开展了多项作战模拟研究和教学,其成果直接为部队的作战、训练服务,产生了巨大的效益。

十年前我开始给研究生讲授《作战模拟理论与方法》,当时手头仅有少量外文资料、几本国内出版的书、一些研究报告和论文,缺乏系统的教材。我在此基础上写出详细提纲,讲授时给学生指出一些参考书,包括一般的连续系统与离散系统仿真的专著,并将我收集到的有关资料借给他们看。随后,陆续有一些(包括我参与的)教学、科研成果、论文问世,讲稿逐年丰富。此时就想要编著一本有关作战模拟的专著作为研究生教材。1995 年张野鹏教授编著的《作战模拟基础》出版了,我当即选用该书为基本教材。1997 年东南大学出版社组织出版了《计算机模拟及其应用》,由我主编,使我能较深入地思考和整理模拟的理论与方法。1997 年第四季度,国内分别在空军指挥学院与军事科学院召开了两次大型学术会议,各以计算机模拟和作战模拟为会议主题,使我进一步了解到国内外模拟理论与方法的现状和发展趋势。同时我指导的军事运筹学硕士研究生黄自力实现了我早有的想法:系统动力学(SD)方

法用于作战模拟将有独特的优点。至此,编著本书的条件成熟了。出版《作战模拟理论与方法》也得到所在单位中国人民解放军工程兵工程学院的支持。为获得最新情况,我又按主题词作了计算机检索查新,阅读了有关文摘。

本书在第一至六章的理论基础介绍后,按作战模拟的四类数学方法编排,接着从简单到复杂,从单一战斗行动到战斗、战役,写入了若干案例,最后展望了作战模拟的发展趋势。

由上可知,本书应该是国内外大量成果、最新成果、包括自己教学科研成果的汇集与精炼,比较系统全面,理论密切结合实际,并有一定的创新。

本书可作为军事运筹学、军事系统工程、指挥自动化和军事学术领域的研究生教材,并可供有关专业的教学、科研人员参考。

作者在选用有关资料时,一般经过认真核对、增补、修改和删节。作者应感谢有关领域的专家、学者,包括本单位的一些年青教员和我的学生。可见书后参考书目,恕不一一列名。

本书曾经中国工程院院士钱七虎教授、军事科学院运筹所所长江敬灼研究员和工程兵工程学院徐飞教授的审阅,他们提供了有益的建设;本书的编辑出版得益于国防科技大学蒋伯诚教授的大力帮助和辛勤工作,在此一并表示诚挚的感谢。

因自己水平的所限和掌握资料的不足,还由于模拟技术和计算机技术的迅速发展,加上编著过程中的疏漏,本书肯定存在不少问题。衷心希望来自各方面的指教。

王可定

1998年12月

# 目 录

## 第一章 绪论

- 1.1 模拟的概念与分类 ..... (1)
- 1.2 作战模拟——“没有硝烟的战场” ..... (7)
- 1.3 作战模拟的历史回顾与应用 ..... (13)
- 附录 作战模拟系统与效率指标选择示例 ..... (23)

## 第二章 连续系统的模拟

- 2.1 连续系统模拟概述 ..... (24)
- 2.2 连续系统的数学模型 ..... (26)
- 2.3 连续系统模拟语言简介 ..... (36)
- 2.4 应用 SLAM 模拟语言模拟连续系统 ..... (39)

## 第三章 随机数和随机变量的产生和随机性检验

- 3.1 随机数和伪随机数的性质 ..... (45)
- 3.2 伪随机数的产生 ..... (47)
- 3.3 伪随机数的随机性检验 ..... (53)
- 3.4 产生已知分布规律的随机变量 ..... (60)

## 第四章 离散系统的模拟

- 4.1 离散系统模拟概述 ..... (82)
- 4.2 离散系统模拟的基本方法 ..... (87)
- 4.3 离散系统模拟语言的选择 ..... (94)



4.4	离散系统模拟举例——排队系统模拟	(97)
<b>第五章 作战模拟战场环境</b>		
5.1	战场环境描述的内容	(110)
5.2	战场地形的描述	(112)
5.3	战场天候条件的描述	(128)
5.4	人工环境条件的描述	(130)
<b>第六章 典型作战行动的描述</b>		
6.1	概述	(137)
6.2	战斗单位的机动	(139)
6.3	目标搜索	(144)
6.4	战场侦察	(157)
6.5	武器射击与对目标的毁伤	(170)
6.6	战斗保障	(179)
6.7	作战工程保障	(182)
<b>第七章 战斗(战役)耗损理论,兰切斯特战斗动态方程</b>		
7.1	兰切斯特第一线性律	(200)
7.2	兰切斯特平方律——战斗模型 A	(203)
7.3	季涅尔方程(第二线性律)——战斗模型 B	(208)
7.4	梯曲曼混合律和威斯—彼得森对数律	(214)
7.5	兰切斯特方程的进一步推广	(219)
7.6	诸兵种合同作战的兰切斯特方程	(225)
7.7	关于损耗系数(损耗率)的讨论	(229)
7.8	关于兰切斯特方程的小结	(232)

## 第八章 指数法与定量判断模型

- 8.1 指数法 ..... (234)
- 8.2 定量判断分析法介绍(QJM 模型) ..... (247)

## 第九章 系统动力学(SD)用于作战模拟

- 9.1 系统动力学基本原理 ..... (264)
- 9.2 SD 模型的建立与 SD 语言 ..... (277)
- 9.3 SD 方法用于描述兰切斯特模型 ..... (286)
- 9.4 SD 方法用于作战系统模拟 ..... (298)

## 第十章 蒙特卡罗(M-C)方法用于作战模拟

- 10.1 蒙特卡罗方法的基本思想 ..... (311)
- 10.2 随机模拟的精度和必需的模拟次数 ..... (314)
- 10.3 模拟变量的概率分布 ..... (320)
- 10.4 M-C 方法模拟的步骤及检验 ..... (322)
- 10.5 作战模拟应用 M-C 方法的一个简例 ..... (325)

## 第十一章 作战模拟有关的其他问题

- 11.1 作战模拟数据采集、输入与输出 ..... (330)
- 11.2 作战模拟中指挥命令的表达 ..... (338)
- 11.3 作战模拟的图形显示 ..... (344)

## 第十二章 典型战斗事件的计算机模拟

- 12.1 计算机作战模拟概述 ..... (352)
- 12.2 典型战斗事件的计算机模拟的内容 ..... (355)
- 12.3 火器射击目标的计算机模拟 ..... (356)
- 12.4 地雷的战术应用及雷场作战效能 ..... (363)

12.5	火力对抗条件下典型筑城障碍物作战效能分析 .....	(368)
12.6	M-C方法用于模拟战斗行动决策 .....	(378)
<b>第十三章 作战模拟模型应用举例——长江二号(CJ-2)简介</b>		
13.1	长江二号模型的研制及描述战斗情况 .....	(387)
13.2	长江二号模型基本方案 .....	(390)
13.3	长江二号系统构成 .....	(397)
13.4	结束语 .....	(402)
<b>第十四章 作战模拟发展趋势与新技术</b>		
14.1	作战模拟发展趋势 .....	(403)
14.2	计算机模拟新技术 .....	(405)
14.3	计算机模拟语言的发展趋势 .....	(433)
附录 A 作战模拟中几个常用的函数及其关系 .....		(438)
附录 B 伪随机数生成及其检验程序 .....		(442)
参考文献		

# 第一章 绪 论

## 1.1 模拟的概念与分类

### 1.1.1 模拟的概念

#### 1. 模拟的意义

模拟就是利用物理的、数学的模型来类比、模仿现实系统及其演变过程,以寻求过程规律的一种方法。

按“国际标准化组织(ISO)标准”的名词解释:

模拟(Simulation) 就是选取一个物理的或抽象的系统的某些行为特征,用另一个系统来表示它们的过程。

仿真(Emulation) 是用另一个数据处理系统,主要是用硬件来全部或部分地模仿某一数据处理系统,以至于模仿的系统能像被模仿的系统一样接受同样的数据,执行同样的程序,获得同样的结果。

一般说来,早期称模拟的多,近期称仿真多;俄译称模拟多,英译称仿真多;在我国军界称模拟多,民用称仿真多;侧重技能训练的称模拟,侧重系统环境的称仿真。可见,仿真相比模拟只有细微差别,目前已将上述“模拟”与“仿真”统归于“仿真”范畴,且都用 Simulation 一词来代表。类似的几个名词如下:

Emulation 仿真[效],模仿[拟],竞赛[争]

Simulation 模拟[仿],仿造[真],模型化

Analog 类似, 类比, 比拟, 模拟[量, 装置, 计算机]

在军事上战场系统或作战行动可以用模型来模仿, 习惯上称为作战模拟, 而不用“仿真”一词. 在本书中基本上用“模拟”, 有时亦混用.

## 2. 相似性

在现实生活中相似是极为常见的事: 有的小孩很像他的父母; 一些玩具就是实物外观的缩小或某种功能的相似; 制造一个大的机器部件有时先制作一个模型, 甚至做成与实物同样大.

一般, 相似性表现为两类:

几何相似性: 两个三角形相似是指它们的三边对应成比例(此时三角相等), 地球仪与地球相似(也可以把地形反映出来), 也就是在形状上和线度上成比例.

数学相似性: 一个弹簧下挂重物的振动系统和一个带有电容、电阻、电感元件的振荡电路就是数学相似的.

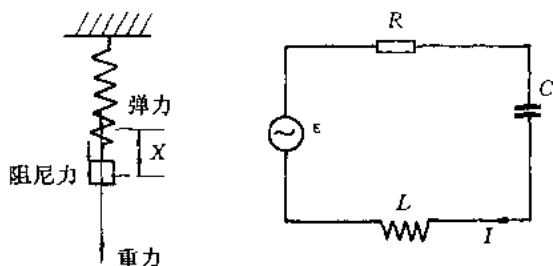


图 1.1 弹簧振动系统和振荡电路系统的数学相似性

设重物系统中, 物体位移为  $X$ , 据牛顿第二定律, 重力( $W$ )、弹力( $-kX$ )、阻尼力( $-\alpha V = -\alpha \cdot dX/dt$ )是物体产生加速度的原因, 有

$$m \frac{d^2 X}{dt^2} = W - kX - \alpha \cdot \frac{dX}{dt} \quad (1.1)$$

式中,  $m$  为物体质量,  $k$  为弹力系数,  $\alpha$  为阻尼系数.

电路系统中, 电动势  $\varepsilon$  等于电阻  $R$ 、电容  $C$ 、电感  $L$  上的电压降, 满足方程式

$$\varepsilon = L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} \quad (1.2)$$

式中,  $q$  为电量, 图中,  $I$  为电流强度.

这两个数学方程是相似的, 只是表示物理量不同和所用的符号不同而已, 在系统科学中这两个系统被称为“数学同构”系统. 它们将有相似的物理现象. 这两个系统都将出现振动(或振荡)现象.

相似性又分为同类相似和异类相似两种.

相似现象是模拟的物质基础, 也是启迪人类思维与创造性的一种基本因素.

事实上相似性是一个含义比较广的概念, 既有几何形状的相似, 结构的相似, 功能的相似, 还有机理和联想的相似性, 特别后者是创造性的源泉.

### 3. 进行模拟的必要性

对于许多现实问题, 需要用模拟进行研究, 其原因是:

- (1) 实际事物太大, 需要缩小(如地球仪, 地形图);
- (2) 实际事物太复杂, 需要简化;
- (3) 实际事物太贵重, 需要省钱(如飞机模拟器);
- (4) 建立实际事物太难、太费时, 为了方便和节时;
- (5) 对实际事物无法观察和感受(如原子模型, 太空实验, 深海实验);
- (6) 实际事物危害大, 危险性大(如战争, 核爆炸, 弹药);
- (7) 实际事物的不可重复性(如战争、各种随机事件);
- (8) 在实际系统上训练操作会干扰系统正常工作(如指挥自动化系统).

## 1.1.2 模拟的方法

模拟的方法分为三类：

### 1. 物理模拟

对实际系统及其过程用功能相似的实物系统去模仿,称为物理模拟.军事演习,实验室(如风洞中飞机模型和部件、船艇实验池、靶场……),沙盘作业这些都属物理模拟.物理模拟通常花费较大、周期较长,且在物理模型上改变系统结构和系数都较困难.现实许多系统无法进行物理模拟,如社会经济系统、生态系统等.

### 2. 数学模拟

利用数学解析公式、统计试验法或其他数学方法来反映作战过程,研究定量关系的一种方法,数学模拟可进行反复大量的计算,可以获得统计规律,来寻求最优决策.模拟所涉及的数学方法有:

**解析模型** 用公式、方程反映作战过程.兰切斯特方程是典型的解析模型,这是一组描述战场作战系统状态的微分方程.

**经验模型** 影响作战效能的诸因素中,有不易量化的一些因素,如训练水平、士气、战斗人员素质、指挥员性格等.为了对不易量化的因素进行量化处理,因此出现了经验的指数方法,美国杜派上校创立的定量判断模型——QJM模型是一个典型.图上作业演练模型也有专家经验方法在内.

**统计模型** 在众多的模拟方法中,统计试验法有较为普遍适用的意义.统计试验法也称为蒙特卡罗方法.它把战术现象分解为一系列的基本活动和事件,用随机方法模拟这些事件和活动,最后再按逻辑关系将它们组合,研究模拟后果,进行统计.

**系统动力学模型** 系统动力学(System dynamics,SD)是由美国 Jay W. Forrester 教授始创的一种科学方法.适合于研究高维、多重反馈的系统.SD方法引入因果、反馈关系及流图等概念,是一

种迭代求解的数学模型,并有一套专用的计算机语言,有其独特的优越性.将它作为系统仿真的一种特殊方法,是本书的一个特色.

目前,模型的含义已大为深化,有些系统很难用数学方程或严密的关系来描述,因此,非结构化、非定量的定性关系模型,也能在一定程度上用于研究现实系统.如用关联矩阵模型描述系统构成和元素间的关系;定性系统动力学用于研究很难量化的系统.

### 3. 混合模拟

利用少量试验(如试射、试飞)与演习配合起来往往可以获得较好的效果,先进行数学模拟获得初步分析结果,然后通过专门的实验演习(即物理模拟)来检验数学模拟的结果,获得有关的模型变量值,最后再进行比较准确的数学模拟和分析.

计算机技术的发展,在计算机上能更好更快地用这些方法实现模拟.

现将模拟方法的关系用框图表示如图 1.2.

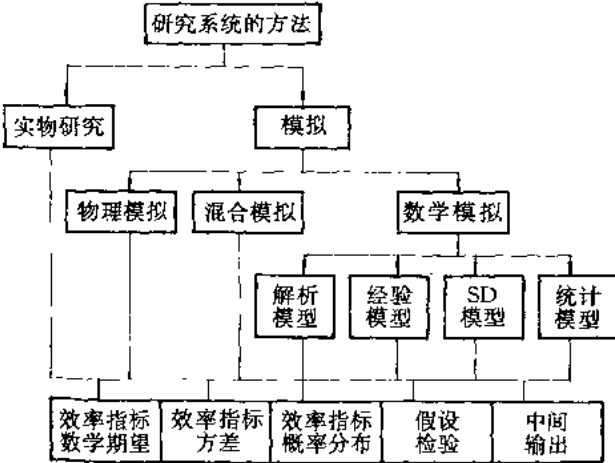


图 1.2 系统研究方法的关系



### 1.1.3 对模拟模型的要求和模拟获得的结果

#### 1. 对模拟模型的要求

模拟模型是对现实系统有关结构信息和行为的某种形式的描述.它对真实系统中那些重要的和令人感兴趣的特性进行抽象与简化.模型在所研究系统的某一侧面具有与系统相似的数学描述或物理描述.模型不是“原型的重复”,而是按研究目的的需要和侧重,反映实际系统重要的部分属性,仅强调所研究系统的某些侧面.只有简单系统能用模型反映全部属性.对模型,要以能方便、快捷地达到模型研究的目的为前提.通常要求:

(1)相似性 即模型与被研究系统在属性上有相似的特性和变化规律,相似原则是选择模型最重要的原则.

(2)简单性 在建模过程中,一般忽略了次要因素,模型是系统的近似.一般而言,在保证实用的条件下,模型越简单越好.

(3)切题性 模型应该针对研究目的.

(4)吻合性 模型结构的选择,应尽可能对所利用的数据作合理的描述和解释.

(5)精确性 模型结构和参数应尽可能精确地反映系统的实际.

(6)可辨识性 模型结构必须选择可辨识的形式,若具有无法估计的参数,则此结构无实用价值.

#### 2. 模拟获得的结果

在通常情况下,模拟可获得如下结果:

(1)效率指标的数学期望值;

(2)效率指标的方差;

(3)效率指标的概率分布;

(4)假设检验;

(5)中间输出,一次现实,若干次现实.