



军队“2110工程”建设项目

# 作战仿真理论与技术

ZUOZHAN FANGZHEN LILUN YU JISHU

黄文清 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

军队“2110 工程”建设项目

# 作战仿真理论与技术

黄文清 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书围绕作战仿真的分析、设计、开发以及应用等过程,全面介绍了作战仿真概念、作战仿真建模方法与 VV&A、作战仿真体系结构与框架、作战仿真系统实现技术等,反映了作战仿真的各个领域最新研究成果和技术发展。

本书内容丰富、资料翔实,知识量、信息量大,可读性强,具有较强的先进性和实用性。适用于军事运筹学、指挥自动化专业及相关专业本科生及研究生的教学,并可供相关专业的科研人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

作战仿真理论与技术 / 黄文清编著. —北京:国防  
工业出版社,2011. 6  
ISBN 978-7-118-07464-2

I. ①作... II. ①黄... III. ①作战指挥—计算机  
仿真 IV. ①E141.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 134374 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印刷

新华书店经售



\*

开本 710×960 1/16 印张 17 $\frac{1}{4}$  字数 322 千字

2011 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3500 册 定价 42.00 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

装备指挥技术学院“2110 工程”教材(著作)

## 编审委员会

主任	曲 炜			
副主任	封伟书	张 炜	冯书兴	潘 清
委 员	(按姓氏笔画排序)			
	于小红	王 宇	白海威	由凤宇
	李希民	宋华文	张宝玲	陈庆华
	陈向宁	陈新华	郑绍钰	赵伟峰
	赵继广	耿艳栋	贾 鑫	桑爱群
	阎 慧	谢文秀	蔡远文	熊龙飞

# 前 言

作战仿真是联系作战理论研究与作战实践研究的桥梁和纽带,它把作战理论的模糊性与技术过程的精确性结合在一起,把作战涉及的各要素与其对应的各学科、工程联系在一起,是和平时期进行作战训练、产生和验证作战理论、评价战法训法、进行武器装备体系研究分析等的主要技术手段。作战仿真是系统仿真在作战领域中的应用,它对帮助掌握高技术战争的特点和规律、研究战法具有特别重要的意义。美军率先开展大规模作战仿真研究,并将其应用于军事训练和作战预演,取得了极大成功。越来越多的国家已经认识到了作战仿真的重要作用,并大力发展作战仿真技术。作战仿真的发展呈现了建模方式标准化、技术框架统一化、仿真系统系列化、作战实验室建设规模化等诸多新特点。

本书是作者在多年博士研究生“作战仿真实理论与技术”课程教学体会和作战仿真科研成果的基础上编著而成。教材内容分为四部分:第一部分为作战仿真概述,内容包括作战仿真基本概念、作战仿真分类、作战仿真基本过程和作战仿真的前沿问题;第二部分为作战仿真建模,内容包括作战仿真概念建模、作战仿真系统建模方法、作战仿真 VV&A;第三部分为作战仿真体系结构,内容包括分布交互式仿真体系结构、高层体系结构 HLA、可扩展建模与仿真框架 XMSF 以及作战仿真领域框架;第四部分为作战仿真技术,内容包括作战仿真想定技术、仿真管理与控制技术、仿真模型管理与集成技术、仿真数据收集

与管理技术、作战态势表达技术以及仿真分析评估技术等。

本书参考或直接引用了国内外的有关文献,编写过程中得到了秦大国教授的大力支持,在此一并表示感谢。

因作者水平有限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

作者  
2011年5月

# 目 录

<b>第 1 章 作战仿真概述</b> .....	1
1.1 基本概念 .....	1
1.1.1 仿真与模拟 .....	1
1.1.2 建模与仿真 .....	2
1.1.3 相关概念 .....	4
1.2 作战仿真分类 .....	5
1.2.1 作战仿真层次区分 .....	5
1.2.2 作战仿真类别区分 .....	6
1.3 作战仿真的基本过程 .....	7
1.3.1 作战建模过程 .....	7
1.3.2 仿真实验过程 .....	9
1.3.3 作战系统建模仿真过程分类 .....	11
1.4 作战仿真的前沿问题 .....	12
1.4.1 复杂作战系统体系对抗建模问题 .....	12
1.4.2 综合自然环境建模与仿真问题 .....	14
1.4.3 多分辨率建模问题 .....	16
1.4.4 计算机生成兵力问题 .....	17
1.4.5 可扩展建模框架问题 .....	18
1.4.6 虚拟现实问题 .....	20
思考题 .....	22
参考文献 .....	22
<b>第 2 章 作战仿真概念建模</b> .....	24
2.1 概述 .....	24
2.1.1 仿真概念模型发展 .....	24
2.1.2 仿真概念模型定义及分析 .....	25
2.1.3 作战仿真概念模型分类 .....	28
2.1.4 作战仿真概念模型作用 .....	30
2.2 作战仿真概念建模步骤 .....	32

2.2.1	作战仿真系统开发过程中的概念模型 .....	32
2.2.2	使命空间概念模型(CMMS)建立过程 .....	33
2.2.3	军事概念模型开发步骤 .....	35
2.3	军事概念建模方法 .....	36
2.3.1	军事概念建模阶段 .....	36
2.3.2	军事概念建模分析方法 .....	37
2.3.3	军事概念格式化描述方法 .....	40
2.3.4	军事概念形式化描述方法 .....	44
2.4	作战仿真概念建模研究前沿问题 .....	49
2.4.1	仿真概念模型建模语言研究 .....	49
2.4.2	仿真概念模型描述方法研究 .....	49
2.4.3	仿真概念模型开发过程研究 .....	51
2.4.4	仿真概念模型验证方法研究 .....	52
2.4.5	仿真概念模型辅助开发与验证工具开发 .....	52
	思考题 .....	53
	参考文献 .....	53
<b>第3章</b>	<b>作战仿真系统建模方法 .....</b>	<b>54</b>
3.1	作战仿真系统建模一般方法 .....	54
3.1.1	作战仿真系统建模任务 .....	54
3.1.2	作战仿真系统建模的一般方法 .....	55
3.2	作战仿真系统建模框架 .....	60
3.2.1	作战实体建模框架 .....	60
3.2.2	作战行为建模框架 .....	64
3.3	基于 Agent 的复杂作战系统建模方法 .....	69
3.3.1	基于 Agent 的系统建模方法 .....	69
3.3.2	Agent 的特征与结构 .....	72
3.3.3	基于 Agent 的行为建模 .....	74
3.3.4	基于 Agent 的组织结构建模 .....	77
	思考题 .....	80
	参考文献 .....	80
<b>第4章</b>	<b>作战仿真 VV&amp;A .....</b>	<b>81</b>
4.1	作战仿真 VV&A 发展 .....	81
4.2	作战仿真 VV&A 概念与原则 .....	83
4.2.1	作战仿真 VV&A 概念 .....	83
4.2.2	VV&A 关系 .....	85



4.2.3	VV&A 原则	87
4.3	作战仿真 VV&A 过程	88
4.3.1	作战仿真 VV&A 的一般过程	88
4.3.2	HLA 作战仿真 VV&A 过程参考模型	90
4.3.3	M&S 全周期中 VV&A 过程改进模型	94
4.4	VV&A 方法	98
4.4.1	VV&A 技术方法	98
4.4.2	校核的基本方法	100
4.4.3	验证的基本方法	100
4.5	仿真 VV&A 标准/规范研究	101
4.5.1	仿真 VV&A 标准/规范技术框架	101
4.5.2	仿真 VV&A 标准/规范介绍	102
4.6	作战仿真 VV&A 发展趋势	103
	思考题	105
	参考文献	105
<b>第 5 章</b>	<b>分布交互式仿真体系结构</b>	<b>106</b>
5.1	分布交互式仿真概述	106
5.1.1	分布交互式仿真技术发展历史	106
5.1.2	分布交互式仿真特点	109
5.1.3	分布交互仿真的技术目标	111
5.2	体系结构概念	112
5.2.1	体系结构定义	113
5.2.2	体系结构相关概念	113
5.2.3	体系结构的应用	115
5.3	DIS(标准)体系结构	117
5.3.1	DIS 系统中的概念组成	117
5.3.2	DIS 的拓扑结构图	117
5.3.3	DIS 的不足	118
5.4	HLA(标准)体系结构	118
5.4.1	HLA 的概念组成	119
5.4.2	HLA 拓扑结构	120
5.4.3	HLA 的结构特点	120
5.5	基于 Web 的体系结构	122
	思考题	123
	参考文献	123

<b>第 6 章 高层体系结构 HLA</b>	124
6.1 HLA 组成与功能	124
6.1.1 HLA 的组成	124
6.1.2 HLA 的功能	124
6.2 HLA 规则	125
6.2.1 联邦规则	125
6.2.2 成员规则	127
6.3 HLA 对象模型	128
6.3.1 HLA 对象模型分类	128
6.3.2 对象模型用途	129
6.3.3 HLA 对象模型模版(OMT)	130
6.4 接口规范	134
6.5 联邦的开发与执行过程(FEDEP)	138
6.6 基于 HLA 的作战仿真系统	140
思考题	142
参考文献	142
<b>第 7 章 可扩展建模与仿真框架(XMSF)</b>	143
7.1 可扩展建模与仿真框架的提出	143
7.1.1 HLA 的不足	143
7.1.2 基于 Web 扩展 HLA 的优势	144
7.1.3 XMSF 的定义	145
7.2 XMSF 的核心技术	146
7.2.1 Web 技术和 XML 领域	147
7.2.2 Internet 和 Networking 领域	148
7.2.3 建模与仿真领域	150
7.3 XMSF 的研究现状	150
7.4 XMSF 的应用	153
7.4.1 XMSF 对 HLA 的完善	153
7.4.2 XMSF 的应用举例	155
7.5 XMSF 进一步研究的内容	161
7.5.1 XMSF 面临的挑战	161
7.5.2 进一步研究的内容	162
思考题	162
参考文献	162

<b>第 8 章 作战仿真领域框架</b> .....	163
8.1 作战仿真领域框架需求分析 .....	163
8.1.1 领域范围分析 .....	163
8.1.2 作战仿真系统的输入输出 .....	165
8.1.3 领域用例分析 .....	167
8.2 典型仿真系统框架 .....	172
8.2.1 框架实现方法 .....	172
8.2.2 JMASS 的系统框架 .....	172
8.2.3 面向 SOA 的仿真系统框架 .....	178
思考题 .....	183
参考文献 .....	183
<b>第 9 章 作战仿真技术</b> .....	185
9.1 作战仿真领域技术与实现技术 .....	185
9.2 作战仿真想定技术 .....	186
9.2.1 基本概念 .....	187
9.2.2 想定内容 .....	189
9.2.3 想定生成 .....	194
9.2.4 作战仿真想定编辑技术 .....	198
9.2.5 作战仿真想定描述技术 .....	201
9.2.6 仿真想定的分管理技术 .....	206
9.3 仿真管理与控制技术 .....	209
9.3.1 概述 .....	209
9.3.2 作战仿真管理控制的任务与特点 .....	211
9.3.3 基于 HLA 的仿真引擎技术 .....	213
9.4 仿真模型管理与集成技术 .....	218
9.4.1 相关概念 .....	219
9.4.2 仿真模型管理思想 .....	221
9.4.3 仿真模型库技术 .....	224
9.4.4 仿真模型库管理技术 .....	227
9.4.5 模型集成框架 .....	229
9.5 仿真数据收集与管理技术 .....	233
9.5.1 作战仿真数据范畴的分析 .....	233
9.5.2 仿真数据收集基础 .....	235
9.5.3 DIS 中的数据收集机制 .....	237
9.5.4 HLA 中的数据收集机制 .....	240

9.5.5	数据标准化技术	246
9.6	作战态势表达技术	248
9.6.1	作战态势表达构成	249
9.6.2	基于 HLA 的态势显示系统	255
9.7	仿真分析评估技术	257
9.7.1	仿真分析评估活动与功能	257
9.7.2	仿真分析评估基本流程	258
9.7.3	仿真分析评估指标体系	260
	思考题	262
	参考文献	262

# 第1章 作战仿真概述

军事科学是以与军事相关事物为研究对象的科学,具有很强的理论性、实践性特点。其研究分为两大类:一是理论研究,包括军事学术理论研究和军事技术理论研究;二是军事实践研究,包括训练实践研究和作战实践研究。作战仿真是联系作战理论与作战实践研究的桥梁和纽带,它把作战理论的模糊性与技术过程的精确性结合在一起,把作战涉及的指挥、控制、通信、计算机、情报、监视、侦察、杀伤等要素及其对应的各学科、工程联系在一起,以仿真实验平台为支撑,构成综合集成研讨厅,实现和平时进行作战训练、产生和验证作战理论、评价战法训法、进行武器装备体系研究分析等功能。

## 1.1 基本概念

基本概念的内涵与外延决定了一个领域研究的内容和范围,而概念的区分则有利于我们把握研究方向,准确地选择合适方法,正确地解决领域问题。

### 1.1.1 仿真与模拟

在仿真领域,仿真与模拟常常混为一谈,不加区分,但在研究方法、研究对象以及研究技术上两者都有所不同。

模拟就是利用物理的、数学的模型(Model)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(王可定《作战模拟理论与方法》)。按照“国际标准化组织(ISO)”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,主要是用硬件系统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。

一般来说,早期称模拟的多,近期称仿真的多;俄译模拟多,英译仿真多;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“模拟”与“仿真”同归于“仿真”范畴,且都用Simulation一词代表。随着仿真/模拟技术的发展,仿真充分应用计算

机来类比、模仿现实系统及其演变过程,即计算机仿真。

### 1.1.2 建模与仿真

在建模与仿真领域,建模与仿真常常混为一谈,不加区分,尤其常将仿真称为模型,对模型或仿真与仿真系统也不加区分。但严格地讲,模型与仿真具有不同含义。美国国防部在建模与仿真主计划 MSMP (Modeling and Simulation Master Plan) 中,将仿真划分为建模与仿真两部分。建模即建立模型,是指建立系统的一种表达,而仿真是指运行和演练这种表达。建模和仿真是一个分析问题和解决问题的途径,是一种建立系统模型,对系统进行仿真的活动。任何模型都要通过仿真实现,而任何仿真都必须有模型支持。

#### 1. 模型定义

美国国防部将模型定义为是对一个系统、实体、现象和过程的物理的、数学的或其他合乎逻辑的表现。

依照该模型定义可知,一个军事系统可从不同侧面、不同层次构建不同的模型,例如系统模型、实体模型、现象模型、过程模型等。而采用不同的抽象形式去构建模型,又可形成概念模型、数学模型、逻辑模型、程序模型等。

#### 2. 仿真定义

美国国防部将仿真定义为是对所选现实世界或假想条件下事件和过程特征的动态描述,它借助于从最简单到最复杂的方法和设施的辅助,依据已知的或假想的过程和数据运行。

仿真的本质是在时间上实现一个模型的方法,即运用模型描述在时间轴上的活动和交互。仿真可以是完全自动的(也就是没有人的干预而自动执行),亦可以是交互式的或者是可中断的(也就是在执行期间可以对它进行人工干预)。

#### 3. 模型与仿真的关系

模型有简单与复杂之分,复杂模型由多个简单模型组合而成。单个或单类模型常常不能构成一个仿真系统,需要多个或多类模型有机集成。仿真系统将一个或多个模型按照一定的机制集成为一个具有完整功能的系统,能有效完成一定的分析论证与训练任务。

图 1-1 所示的仿真建模过程体现了模型与模型、模型与仿真之间的相互关系。对真实世界进行第一次抽象形成概念模型,概念模型运用数学和逻辑的方式表示,可包括数学模型与逻辑模型。在概念模型的基础上采用程序实现构成程序模型,即可以运行的仿真模型,仿真模型在时间轴上的执行则实现对真实世界的仿真。

建模关注模型的功能与算法,仿真关注系统的模型框架结构,即组成仿真系统的模型种类与关系;从时间的角度看,模型是采用数学和逻辑方法描述系统的构成

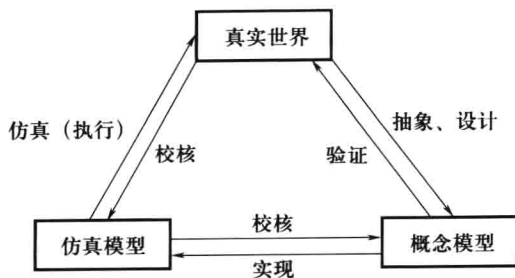


图 1-1 仿真建模过程

关系、运行原理,是对系统的一种静态描述。而仿真则是在时间轴上将模型实现的动态运行,是对系统的一种动态表现;从全局与局部的角度看,模型是从不同角度、不同层次对系统、实体或过程的局部描述,而仿真则是从全局综合运行各种模型,实现系统的综合状态表现。由于仿真是在时间上实现模型的方法,由此,模型是仿真的基本构件,没有模型就没有仿真,仿真是模型的集成表现。作战仿真需要通过作战想定将模型集成为有机整体。仿真为了实现模型在时间轴上的动态运行,必须为模型运行提供数据,同时模型通过交互运行为仿真提供仿真结果数据。上述模型与仿真的区别与联系决定模型与仿真的相互影响关系,例如:模型的类型、范畴影响仿真应用的类型、范畴,只有陆军地面作战模型的仿真系统只能实现陆军地面作战的仿真,不可能进行空军的空中突袭仿真;模型的质量影响仿真结果的质量,精度较低的模型运行不能获得高精度的仿真结果;模型接口规范影响仿真的综合与集成方法;一个仿真系统的体系结构影响着模型的开发方式,模块化的体系结构支持分散、协作式的模型开发与存储调用方式。上述模型与仿真的区别与联系归纳于表 1-1 中。

表 1-1 模型与仿真的区别与联系

	模 型	仿 真
区别	模型是对系统的静态描述; 模型是分散的系统、实体或过程描述	仿真是在时间轴上的模型动态运行; 仿真是模型的综合运用
联系	(1) 模型是仿真的基本构件,仿真是模型的集成结果; (2) 模型通过作战想定连接构成仿真; (3) 仿真为模型运行提供数据,模型为仿真提供运行结果	
相互影响 关系	(1) 模型的类型、范畴影响仿真应用的类型、范畴; (2) 模型的质量影响仿真结果的质量; (3) 仿真的体系结构影响模型的开发方式、存储调用方式; (4) 模型(接口规范)影响仿真的综合、集成方法	

### 1.1.3 相关概念

在作战仿真领域同时存在许多不同的、相互交叉的一些概念,这些不同概念在研究范畴和内涵上存在细微的区别。

#### 1. 军事仿真(Military Simulation)

军事是指与军队或战争有关的事情。军事仿真是通过应用计算机仿真技术执行与军队或战争有关的模型,对军事问题进行研究和分析。

由于军事仿真技术能够形象地按照军事问题的需要描述战争过程,描述武器系统、人员、战术、技术和指挥等在一场假想的战争中的作用和表现,帮助人们思考可能发生的情况和采取的对策,分析在各种状态下的仿真结果。因此,军事仿真已成为军事领域中使用最为广泛的手段。

#### 2. 作战仿真(Combat/Warfare Simulation)

作战是指军队之间的敌对和互相残杀,或打仗。美国国防部 1-02 联合出版商将“作战仿真”定义为:“是对在实际的或假想的环境下,按照设计的规则、数据和过程行动的两支或多支部队进行对抗的仿真”。该定义体现作战仿真的相关组成要素,包括仿真环境、作战规则、作战数据、作战过程、作战对抗行动等。

徐学文、王寿云在 2002 年出版的《现代作战仿真》中对作战仿真要素进行了描述,认为一个完整的作战仿真包括对军事(有时还包含政治、经济)对抗局势的推演、对战场上作战过程的预测(或再现)、对作战装备和参战人员在战斗过程中的操作(和感知)的仿真以及事后的统计分析。这种推演、预测、再现和仿真,往往在人的参与(有时也成为仿真的一个部分)下,借助各种手段(图表、沙盘、实际操作、仿真装备、传感设备、计算机和通信设备)通过模型的建立和模型的运行实现。

#### 3. 战争模拟(War Gaming and Simulation)

战争是人类社会集团之间为了一定的政治、经济目的而进行的武装斗争。胡晓峰等在 2002 年出版的《战争模拟引论》一书中,将战争模拟定义为“就是运用实物、文字、符号或其他手段,对战争环境和战争过程进行模仿分析的技术、方法和活动,目的是为了对未来的战争或战争的某一组成部分进行研究和准备”。

该定义突破了作战仿真对“作战行动仿真”的外延,发展到对政治、军事、经济等战争诸多方面的仿真,突出了作战仿真服务于战争研究和战争准备的目的。该书认为“现代战争模拟,则是建立在军事科学、军事运筹学、军事系统工程和现代信息技术基础上的基于计算机的模拟,其主要功能是处理大量的战争数据和信息,构建相应的模型和规则,创建逼真的虚拟战场环境、部队和武器装备,通过模拟过程的方法对战争的主题或局部进行推演和分析。”

#### 4. 兵棋推演/对抗模拟(War Gaming/War Game)

兵棋是一种战争游戏或军事演习。兵棋推演或对抗模拟来自英文为 War Game,



含义为军事作战的物理或电子仿真,包括两方或多方力量,运用规则、数据、程序描述真实的或假设的情况,与美国国防部 1-02 联合出版物“作战仿真”的定义相近。

兵棋的基本组成包括棋盘、棋子、规则、骰子。兵棋的棋盘(Wargame Map)是如图 1-2 所示的网格地图,主要描述对作战行动有影响的地理信息,表现部队所在的位置、地形以及一步走多远。兵棋的网格地图一般采用是等距离行动方向最多的正六边形的网格地图,而不是正方形网格地图,原因是六边形的网格地图可以减小沿对角线方向机动产生的误差。

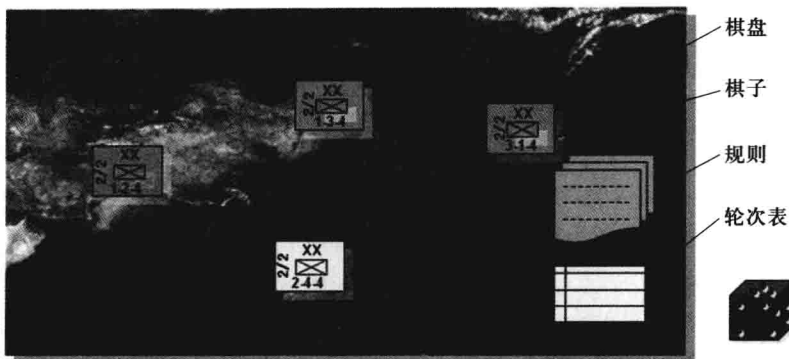


图 1-2 兵棋的组成

兵棋的棋子代表一定的作战单位或战场事件,分为单位算子和事件算子。单位算子代表参与作战的作战单位,通常标志作战单位的攻击能力、防御能力、机动能力、主要装备等。事件算子代表作战的战场事件,主要用于记录伤亡、破坏、突发事件等动态战场情况。兵棋的作战规则(表)是棋子走步(执行作战行动)所需要遵循的行动基本规则,指导兵棋的推演。它规定了交战的条件、等级、方式、结束交战的条件等方面的内容,如:海上部队在其射程内一发现外来舰船,就会使用可用的面对面导弹与其交战。兵棋的轮次表与骰子用于确定兵棋的走子顺序和结果,体现作战方案或作战过程以及战争所包含的随机性,即战争迷雾。

传统的兵棋为严格式兵棋,一般是一战一棋,每一种棋子都包含具体某一场战争的武器装备数据和规则数据。因此,兵棋推演或对抗仿真需要基本作战规则和实战经验数据的支持,从而避免作战仿真的“示意性”、“演示性”、“观摩性”。

## 1.2 作战仿真分类

### 1.2.1 作战仿真层次区分

作战仿真按照战略、战役、战术和技术分为了以下 4 个层次的仿真: