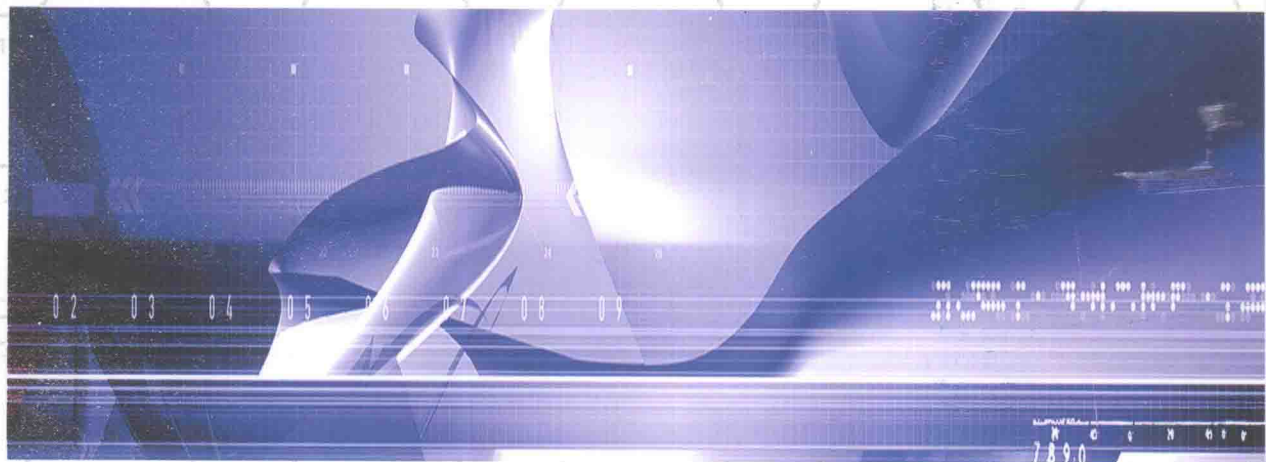


黄炎焱 编著

系统建模仿真 技术与应用

XITONG JIANMO FANGZHEN
JISHU YU YINGYONG



国防工业出版社
National Defense Industry Press

系统建模仿真技术与应用

黄炎焱 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

根据系统仿真技术学习的需要,本书对系统建模仿真的理论、方法及应用技术进行了较为全面而翔实的介绍与分析,内容既囊括常见的仿真技术,如连续系统仿真技术、离散事件系统建模与仿真技术、可视化建模与仿真技术、先进的仿真技术如HLA/RTI等,还包括严格式兵棋推演技术、计算机生成兵力技术以及应急管理建模仿真等较新颖的技术。本书注重理论与应用相结合,对应急仿真推演、可视化仿真、兵棋推演分析等应用案例进行详细分析。

本书可供系统工程、自动化、电子信息工程、机械电力工程、计算机工程等学科专业研究生作为教学参考书,同时可供总体论证相关的军民领域科研院所专业技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

系统建模仿真技术与应用/黄炎焱编著. —北京:国防工业出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-118-11219-1

I. ①系… II. ①黄… III. ①系统建模 ②系统仿真 IV. ①N945.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 026915 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)

三河市德鑫印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 20½ 字数 468 千字

2016 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 46.00 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

系统仿真以相似原理、系统技术、信息技术及其应用领域有关专业技术为基础,以计算机和各种专用物理效应设备为工具,利用系统模型对真实系统进行动态研究的一门多学科综合性技术。系统仿真技术是解决工程和非工程领域问题的主要手段之一,尤其在解决大系统和复杂问题的过程中已成为不可缺少的技术工具,被称为人类认识和改造社会的“第三种手段”。

系统仿真技术越来越广泛地应用于国防和国民经济等多个领域,比如,装备体系论证、应急演练及推演、调度优化、虚拟样机、柔性制造系统仿真等。

本书系统地介绍了系统建模与仿真实论基础、技术方法及其在军民领域的应用。全书总共十一章,分为基础、高级及应用三部分,第一部分是基础篇,包括第1章~第4章。第1章概论,着重介绍系统仿真的基本概念、分类、方法步骤以及系统仿真的作用及意义。第2章重点介绍连续系统的数学建模方法、仿真算法、仿真建模工具及连续系统建模仿真应用。第3章阐述经典的离散事件系统,描述规范 DEVS 理论及举例说明。第4章介绍离散事件系统仿真建模方法,探讨随机变量数字生成与排队系统、库存系统以及 Petri 网等典型离散事件系统仿真问题。

第二部分是仿真技术高级篇。包括第5章~第8章。第5章阐述了可视化仿真技术,对 Creator 和 VEGA 等建模与仿真工具进行介绍与分析。第6章介绍了先进分布交互仿真高层体系结构 HLA 的体系结构组成与规则、RTI 接口规范、对象模型模版 OMT,以工程兵破障仿真训练为背景进行仿真应用。第7章主要介绍计算机生成兵力 CGF 的概念、理论及设计工具。第8章介绍了严格式兵棋,以美国海军的板式兵棋为基本工具,介绍兵棋推演的过程及步骤,结合为可视化、多媒体及虚拟现实技术在仿真中的应用。

第三部分是仿真应用篇,包括第9章~第11章,其中,第9章主要介绍基于 DEVS 的应用指控 OODA 过程仿真与分析。第10章介绍可视化仿真在登陆舰的仿真的应用。第11章介绍一个基于严格式兵棋推演的案例。

本书力图全面反映现代系统仿真技术的最新进展,注意理论联系实际,密切结合工程应用,特别是在国防、军事及复杂系统仿真中的应用问题。该书是编著者多年来从事系统仿真及系统工程技术教学和科研实践所取得的成果。

全书由黄炎焱组织编撰和统稿。本书第1章~第5章,第7章~第11章由黄炎焱负责编写,第6章由赵振南(东南大学成贤学院)和黄炎焱合作编写。

IV | 前言

感谢作者所在实验室的研究生颜常胜、张俊辉、陈杰、彭家陵、周运远、吴航海、金从镇、刘明涛、朱晨、魏来等,在书稿的编写过程中,他们对书稿进行了认真仔细的编辑、校对。同时感谢已研究生毕业的兵棋研究组成员吕超、顾彤、鲁大剑、韩煜、夏丽、许熠等参加的推演工作。参加本书校对工作的还有梁魏、陶长卫、朱梁、王旭、赵一莘、吕洁等研究生。编者对他们的工作表示感谢。

最后感谢我的妻子和女儿对我的支持与理解。

感谢所有关心和支持本书编写和出版的人们。

在编写该书过程中,参考了一些同行书籍资料,作者不再列举,在此一并表示鸣谢。

本书得到南京理工大学研究生院第二批研究生教育优秀工程项目以及政府间国际科技创新合作重点专项(2016YFE0108000)的支持,在此表示感谢。

同时,本书也得到国家自然科学基金(NO. 61374186)的支持,一并表示感谢。

由于本书作者水平有限,书中难免存在不足甚至错误,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一部分 基础篇

第1章 概论	3
1.1 系统仿真基本概念	3
1.2 系统仿真三要素	4
1.2.1 系统	4
1.2.2 模型	5
1.2.3 计算机及试验平台	5
1.3 系统仿真的作用及意义	5
1.4 系统仿真的主要理论框架	8
1.4.1 相似理论	8
1.4.2 离散事件系统描述规范	9
1.5 系统仿真的分类	9
1.6 仿真的基本步骤	12
1.7 系统仿真技术的应用	13
思考题	15
参考文献	15
第2章 连续系统建模与仿真	16
2.1 连续系统模型描述	16
2.2 连续系统建模方法	20
2.2.1 离散化原理	20
2.2.2 数值积分	21
2.2.3 时域离散相似法	30
2.2.4 采样控制系统仿真	33
2.3 连续系统仿真的主要工具 Simulink	38
2.4 连续系统仿真实例	40
2.4.1 二阶系统的单位阶跃响应仿真	40
2.4.2 Simulink 示波器仿真	42
思考题	44
参考文献	44
第3章 离散事件系统描述规范 DEVS	45
3.1 离散事件系统建模的特点及建模语言	45

3.2	经典的 DEVS 描述规范	45
3.3	耦合的 DEVS 描述规范	46
3.4	仿真器及协调器的设计	47
3.5	交通信号灯系统的 DEVS 描述规范	49
3.5.1	交通信号灯系统 DEVS 原子模型	49
3.5.2	耦合交通信号灯模型	52
	思考题	54
	参考文献	54
第4章	离散事件系统建模与仿真	55
4.1	离散事件系统建模仿真基础知识	55
4.1.1	一般概念	55
4.1.2	离散事件系统仿真的一般步骤	57
4.1.3	随机分布基础知识	57
4.1.4	随机过程基础知识	60
4.2	离散事件系统建模方法	62
4.2.1	实体流图法	62
4.2.2	活动周期图法	65
4.3	离散事件系统仿真方法	69
4.3.1	随机变量的产生及检验	69
4.3.2	离散事件系统仿真方法	72
4.4	离散事件系统仿真结果分析	83
4.4.1	终态仿真结果的分析	83
4.4.2	稳态仿真结果的分析	85
4.5	排队系统	88
4.5.1	排队系统基本概念及排队模型	88
4.5.2	单队列、单服务台排队系统的模型与仿真方法	90
4.6	库存系统	95
4.6.1	库存系统的基本概念	95
4.6.2	库存系统的模型与仿真方法	95
4.7	加工系统	100
4.7.1	加工系统模型	100
4.7.2	仿真程序设计及结果	102
4.8	Petri 网建模	103
4.8.1	Petri 网的基本概念	104
4.8.2	基本网系统与条件事件系统	107
4.8.3	Petri 网的分析技术	108
4.8.4	Petri 网的扩展	109
4.8.5	着色 Petri 网	110
4.8.6	层次 Petri 网	111

思考题	112
参考文献	113

第二部分 仿真技术高级篇

第5章 系统三维可视化建模及仿真技术	117
5.1 三维可视化建模技术概述	117
5.1.1 可视化仿真简介	117
5.1.2 可视化建模相关概念及类型	117
5.1.3 构建三维模型工具及环境	120
5.2 生成真实感三维图像的基本理论	122
5.2.1 可视化建模中曲线曲面的数学基础	122
5.2.2 光线跟踪技术	125
5.2.3 辐射度方法	125
5.3 实时仿真的视景生成	126
5.3.1 OpenGL 概念建立	126
5.3.2 OpenGL 工作流程	126
5.3.3 OpenGL 图形操作步骤	127
5.3.4 OpenGL 的基本功能	127
5.4 实时视景生成和显示技术	128
5.4.1 可见性判定和消隐技术	128
5.4.2 细节层次模型	129
5.4.3 虚拟环境显示中获得稳定帧速率的适应性策略	130
5.4.4 纹理映射技术	131
5.5 建模环境及工具	132
5.6 可视化仿真中的碰撞检测技术	135
5.6.1 碰撞检测算法的分类	135
5.6.2 常用几种包围盒	138
5.6.3 基于层次包围盒的碰撞检测算法	143
5.7 仿真引擎及工具	146
5.7.1 三维图形技术在游戏和仿真领域的层次	146
5.7.2 三维仿真软件 and 主要产品	147
5.8 可视化仿真中的碰撞检测案例	153
5.8.1 实验场景搭建	153
5.8.2 定向碰撞实验	156
思考题	157
参考文献	158
第6章 高级分布交互仿真 HLA	159
6.1 HLA 概述	159
6.2 HLA 的组成及标准	163

6.3 对象模型模板 OMT	166
6.3.1 OMT 的作用	166
6.3.2 OMT 中的对象模型	167
6.3.3 OMT 的组成	167
6.3.4 HLA 中的对象模型与面向对象(OO)的关系	172
6.4 运行支撑环境(RTI)	173
6.5 运行支撑平台 RTI 的六大管理服务	175
6.5.1 联邦管理服务	175
6.5.2 对象管理服务	179
6.5.3 声明管理服务	183
6.5.4 所有权管理	188
6.5.5 时间管理	192
6.5.6 数据分发管理	196
6.6 任务空间的概念模型	204
6.6.1 任务空间概念模型的定义	204
6.6.2 CMMS 组成	204
6.7 一个破障分队仿真系统案例	207
6.7.1 破障分队仿真系统	207
6.7.2 破障仿真系统体系结构	208
6.7.3 基于 HLA 仿真系统开发过程	210
6.7.4 仿真系统联邦成员设计	214
6.7.5 破障仿真系统联邦开发	215
6.7.6 破障仿真系统功能实现	221
6.7.7 破障仿真系统联邦运行	225
6.7.8 破障仿真系统总结分析	229
思考题	230
参考文献	230
第7章 计算机生成兵力	231
7.1 计算机生成兵力(CGF)及其作用	231
7.1.1 CGF 的基本概念	231
7.1.2 典型 CGF 系统介绍	232
7.1.3 CGF 的特点及关键技术	234
7.1.4 CGF 的作用及不足	235
7.2 CGF 的研究内容及体系结构	235
7.2.1 CGF 研究重点	235
7.2.2 三种 CGF 体系结构	236
7.3 基于 VR - Forces 环境的兵力生成	237
7.3.1 VR - Forces 简介	237
7.3.2 VR - Forces 软件架构	238

7.3.3	基于实体参数数据库的构造模型	238
7.3.4	实体行为仿真框架	239
7.3.5	VR - Forces 仿真 API 及其扩展	240
7.3.6	VR - Forces 的对象创建及描述	241
7.4	VR - Forces 其他技术	242
7.4.1	实体	242
7.4.2	组件——Component	243
7.4.3	消息	243
7.4.4	VR - Forces 通信机理	244
7.4.5	任务	245
7.4.6	计划	245
7.4.7	地形	246
7.4.8	一个 VR - Forces 的例子	246
7.5	基于 STAGE 的兵力生成	248
7.5.1	STAGE 作战想定软件	248
7.5.2	STAGE 作战仿真软件的体系结构	248
7.5.3	STAGE 作战仿真软件的典型应用	249
7.5.4	基于 STAGE 的指挥信息系统建模与仿真	250
7.5.5	举例分析	252
	思考题	256
	参考文献	256
第8章	严格式兵棋体系及其技术	257
8.1	兵棋推演来源	257
8.2	兵棋要素及其涵义	258
8.2.1	兵棋的棋盘	258
8.2.2	兵棋算子	259
8.2.3	兵棋的规则	260
8.2.4	随机数生成器——打骰子	260
8.3	兵棋规则	261
8.3.1	机动规则	261
8.3.2	作战规则	261
8.3.3	裁决规则	261
8.4	博弈论与兵棋推演	262
8.4.1	博弈论	262
8.4.2	兵棋中的博弈	262
8.5	典型兵棋推演规则及分析	264
8.5.1	第七舰队兵棋推演	264
8.5.2	兵棋推演的次序	264
8.5.3	战略回合	265

8.5.4 行动回合	268
8.5.5 结束回合	269
思考题	269
参考文献	270

第三部分 仿真应用篇

第9章 基于 DEVS 的突发事件应急响应仿真建模与应用	273
9.1 基于 OODA 的突发事件应急响应机理框架	273
9.1.1 OODA 作战环	273
9.1.2 基于 OODA 的突发事件应急响应机理框架构建	273
9.2 突发事件应急响应机理形式化建模	274
9.2.1 DEVS 形式化建模理论	274
9.2.2 单一应急响应单元 OODA 环的 DEVS 描述	275
9.2.3 应急协同响应 OODA 过程的 DEVS 复合模型	277
9.2.4 应急仿真策略	280
9.3 应急响应过程建模与仿真应用	285
9.3.1 基于 STAGE 的应急响应过程建模	286
9.3.2 突发事件应急响应过程仿真	288
思考题	290
参考文献	290
第10章 一个登陆舰的可视化仿真案例	291
10.1 概述	291
10.1.1 建模与仿真技术的总体框架	291
10.1.2 采用的建模与仿真工具	292
10.2 建模与仿真关键技术	293
10.2.1 建模技术	293
10.2.2 DOF 技术	294
10.2.3 碰撞检测	296
10.3 仿真程序设计	297
10.3.1 Vega Prime 仿真程序工作流程	297
10.3.2 基于 MFC 的仿真程序设计	298
10.4 登陆舰装载过程仿真例子	300
思考题	302
参考文献	303
第11章 一个兵棋推演分析案例	304
11.1 想定背景	304
11.2 多方案下的战术想定推演与分析	306
11.3 基于 War Game 案例分析	307
思考题	316
参考文献	316

第一部分 基础篇

第 1 章 概 论

人类在认识和改造世界的历史长河中,先后经历了实际试验、理论分析等探索阶段,并取得了相应的成果。随着人们探索面的扩大,对未知领域认识的要求越来越高,仅仅采用实际试验和理论分析等方法已经无法满足探索的需要。一种称为系统仿真的研究手段应运而生。其实,系统仿真技术是 20 世纪随着计算机技术等信息技术发展起来的一门新兴技术,已经成为大多数复杂系统特别是高技术产业在论证设计、生产试验/评价及训练装备阶段不可或缺的手段,成为研究大规模/复杂系统的有力工具,因而被称为继实验研究、理论研究两种人类认识世界和改造世界的手段之后的“第三种手段”,并且在可预见的将来,系统仿真手段的应用范围必将越来越广阔。

为此,我们需要研究及掌握这种手段,考虑到仿真往往以系统为对象,为此本书将围绕系统仿真相关的概念、意义、原理、技术体系、分类及应用范畴等展开分析与介绍。

1.1 系统仿真基本概念

顾名思义,系统仿真就是模仿分析待研究的真实系统的行为与特点的活动。事实上,“仿真”一词源自于英文“simulation”和“emulation”,前者意为模拟,后者意为仿真,因为两者差别细微,目前习惯采用“simulation”来表示仿真。仿真的定义有多种,雷诺(T. H. Naylor)在 1966 年定义仿真为:“仿真是在数字计算机上进行实验的数字化技术。”加拿大著名的 Tuncer OREN 教授给出最简单的仿真定义为:“仿真是一种基于模型的活动。”其认为仿真的关键在于建模,仿真就是利用模型来做实验。我国专家王可定认为,仿真是利用一个物理的、数学的系统模型(Model),来类比、模仿现实系统及其演变过程,以寻求系统过程规律的一种方法(见王可定《作战模拟理论与方法》)。

系统仿真的定义较多,但目前国内外使用比较广泛的仿真定义为:仿真是建立所研究系统的模型,并在该模型上进行实验,即采用模型来再现真实系统的情况。

随着计算机技术的发展,出现了计算机仿真的概念,可套用上述定义,计算机仿真即借助计算机建立系统模型并再现真实系统的情况。通常表现为,在计算机上,按一定的实验方案,通过一定的调度方法来展开系统模型以获得系统的(动态)行为,进而研究系统的过程。当然,除了计算机仿真,还有兵棋仿真或推演等。其中,兵棋推演则是利用兵棋工具来再现真实系统的情况。后面我们讨论的仿真,除非特殊指出,均指计算机仿真。

1.2 系统仿真三要素

从仿真的定义可以看出,系统仿真包括三个基本要素,分别是系统、模型及计算机。首先,我们要模拟的对象是真实世界的系统,其应该是一个有边界的复杂的客观对象;第二要素是模型,它是真实系统的替代品,是对真实系统的特征抽取与简化;第三要素是计算机,简化的模型需要借助计算机语言来刻画表达。为此,从真实系统抽取特征进而获得模型的过程称为系统建模;由模型翻译成计算机可以处理指令过程称为仿真建模;而借助计算机实验条件下,再现真实系统的行为情况称为仿真实验。图 1.1 仿真三要素及仿真三活动如图 1.1 所示,“系统、模型、计算机”称为仿真三要素及三过程。



1.2.1 系统

仿真的第一个要素是系统(System)。系统的定义为:由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体。通常,系统组分是在物理或逻辑上可相对独立的单元。其实,系统可以叠加,大系统往往包含小一级的系统。

系统按研究对象可分为工程系统、自然系统和社会系统,如武器装备系统、生物遗传基因演化系统,有人参与的生产、消费、交换及积累的社会系统等。

其中,工程系统是按某种需要,利用工业手段集成不同功能组分形成的具有预定功能的系统。如图 1.2 所示是一个一般的工程系统。

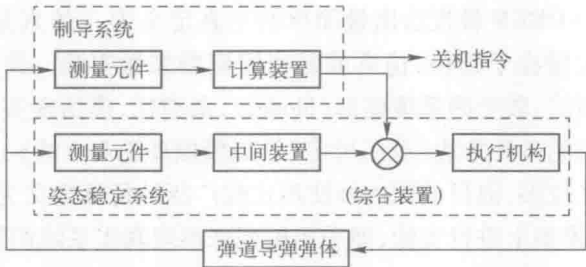


图 1.2 弹道导弹飞行控制工程系统

在研究过程中,对一个系统的界定很重要。特别是对一个复杂系统进行建模与仿真研究时,首先要根据研究的目的与需求,对所研究的系统边界作出合理的界定,以适合于仿真问题的解决。系统界定范围大小,完全根据研究问题的需要。切忌对边界选取过大,否则造成研究区域的主次不分,致使系统大而空且实现不了。同时,也不能对研究的系统边界选取范围过小,造成管中窥豹或断章取义,找不到系统主流要素的规律。为此,做好系统的需求分析与条件界定很必要。

1.2.2 模型

考虑到经济及安全方面的原因,通常人们不希望采用实际系统来进行试验,而采用模型进行实验研究。系统仿真的第二个要素是模型(Model),它是对所研究真实系统特性和规律的抽象和简化,是真实系统的替代品。计算机仿真模型是采用数学、逻辑或其他抽象的方法进行描述,再用计算机语言加以实现的模型。通常的仿真模型均为计算机仿真模型。

模型具有如下基本性质:

(1) 相似性,即模型与所对应的系统必须具有相似的特性和规律(如几何、感觉、逻辑上的相似)。模型往往满足相似定理包括的自反性、对称性、传递性等重要特性。

(2) 简化性,即模型是对原系统的近似表达。可以说,真实系统的真值为1,模型的真实性的只能无限逼近原系统,但不能轻易达到。

(3) 多样性,即同一系统的模型表示形式并不唯一。有些模型采用解析式,有些模型采用流程图表达。

模型一般分为物理模型和数学模型。其中数学模型又分为静态模型和动态模型两类。

通常可根据系统涉及的时间集合的特点,可将模型分为两类:

(1) 连续时间模型。模型的系统状态随时间连续变化或不变,且在任意连续时刻皆可获得系统状态的变量值。

(2) 离散时间模型。系统状态随时间连续变化或不变,但只能随机地在离散时间点上获取系统状态变量值。

1.2.3 计算机及试验平台

仿真的第三个要素是计算机平台。建立了系统模型,需要将模型描述解释为便于计算机识别的仿真模型,进而可以在实验设计的条件下,借助计算机的智能计算再现真实系统的情况。

可以认为,计算机仿真技术是:以建模仿真实理论、计算机技术和信息技术以及相关应用领域知识为基础,以计算机及相关信息技术设备为工具,利用数学模型或部分实物模型,对实际或设想的系统进行动态试验和分析的一门综合性技术。

1.3 系统仿真的作用及意义

理解了系统仿真的基本含义后,可以知道系统仿真作为一种手段,可用于再现真实复杂系统的情况。在近十年科研手段及论证方法中,人们十分热衷于采用系统仿真技术进行研究,探究原因,主要是因为系统仿真具有独特的优势及重要的作用。

(1) 在认识及实践活动的手段中,系统仿真已经提升为人类认识和改造世界的第三种手段。

众所周知,在人类认识和改造世界的历史长河中,曾先后采用了两种不同的基本手段,如试验研究、理论研究。

首先,试验研究—认识与探索世界的“第一手段”。根据人类认识和探索世界的先后顺序,在知识积累较少的原始社会,到18世纪前的漫长人类认识历史中,人类认识和改造世界的主要方法和手段往往是直接人工试验,例如利用钻木取火,尝试野生食物,探索种养等。因此试验研究被人们称为认识与探索世界的“第一种手段”。到18世纪前,人类主要通过实践经验和试验认识世界。从物质结构的化学组成分析,到物理特征及原理的发现,再到工业产品的设计研制,都离不开科学的试验手段。

其次,理论研究—认识与改造世界的“第二种手段”。18世纪,牛顿等科学家发明了微积分与力学,把大自然的多种规律归结为一组常微分方程或者偏微分方程。以物理学为例,从开普勒行星运动三大定律,到牛顿万有引力定律,再到爱因斯坦相对论,在缺乏试验条件的过去,采用理论研究十分有效。理论研究建立了严密的微分方程,由于微分方程求解计算的复杂性,限制了人们对自然界规律的研究。

第三,随着现代信息技术的发展,采用建模与仿真方法构造现实世界实际系统的模型并在计算机上进行仿真,正成为分析和解决复杂问题的一种广受关注而较为有效的手段,它被人们称为认识改造世界的“第三种手段”。

(2) 在处理如下重要研究工作中,系统仿真方法比直接实际试验更具优势。

① 实际原型难以找到或尚处于论证或设计阶段的系统,但面临着急需进行系统测试与验证的问题,往往缺乏实际样机而无法直接进行试验,系统仿真发挥了不可替代的作用。这种情况在航天、军工装备的发展论证中常常出现,例如新一代航天器、新一代武器装备的论证,往往做的是前所未有的创新装备,研究中尚未有实际的样机,而在装备论证与采办的过程中,往往需要评估论证装备的系统效能和作战能力,采用实际的样机装备是行不通的,因此,需要借助系统仿真的手段,构建所研究的装备的虚拟样机或概念模型,投放到将来的应用场景或战场中进行仿真模拟,对测试的结果进行分析预测,可以在很大程度上克服缺乏实际样机带来的困难。例如美国的濒海战斗舰的研发论证,最初也没有原型系统,但其在20世纪90年代初就以中国南海为应用背景进行了采办论证与预先设计,设计了新的虚拟的濒海战斗舰的模型,围绕该舰为主要作战单元投放到中国南海区域进行介入与作战推演,评估与论证了该战斗舰的作战能力,这为美国近年来提出的亚太再平衡战略提供了有力支持。

② 针对一些危害性大、安全性差的试验,或直接试验会面临较大风险,需要更多采用仿真手段进行测试与分析。例如核爆炸、核电站泄漏分析试验、大坝溃坝风险分析试验、飞机抗坠毁试验等,直接进行实际试验会面临包括生命安全及财产安全在内的较大风险。

人工直接测试分析往往增加了事故发生的风险,在实际试验操作之前,采用仿真模拟的手段对这些可能危害性较大的系统进行仿真测试与分析,可为今后实际熟悉操作这些危险源系统提供良好的预先基础。切尔诺贝利核电厂爆炸,日本福岛核泄漏事件反映出了重大危险源和污染源危害的严重性,同时也反映了做好应急预案的重要性,恰恰应急预案需要仿真模拟分析。图1.3是日本福岛核泄漏事件的应急处置方案,该方案面临较大危险性,但是经过了方案的风险仿真分析后执行的,具有一定的可靠性。

③ 一些受到时间、空间制约的大试验,实际试验难度巨大,不易实现。例如需要试验周期太长,试验的范围太大的试验,如生物进化试验,全球气候变暖试验,大气环流形成,大国间军事、政治、经济格局及态势的演化试验。这些试验特点是,耗时长,空间地域跨越