

21世纪高等教育应用型人才培规划教材

基于 **ProModel** 的 系统仿真案例教程

王浩 编著

清华大学出版社

21世纪高等教育应用型人才培养规划教材

基于 ProModel 的 系统仿真案例教程

王浩 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以大量的实验讲解和练习为主内容展开,使学生渐进地完成对软件基本建模要素的理解、记忆和应用,并通过最后的大案例来完成综合应用的提升,达成软件基础应用的教学目标,为以后的高阶学习和应用奠定基础;目标是使学生具备独立应用解决实际问题的能力,让知识成为能真正用起来的能力。同时,为了满足教学理论知识导入的需要,也用相应篇章介绍了系统仿真的基本概念、理论常识以及ProModel软件的使用。

本书可以作为高等院校工业工程、物流管理、机械工程、管理工程、工商管理等专业本科生、研究生相关课程教材,也可以作为从事制造(管理)系统设计、生产计划与调度、物流设施规划等领域的技术及管理人員的学习、培训参考用书。

本书配套提供了相应的教辅资料、案例练习题文件等,对教师教学和读者自学都有很大帮助(下载地址:<http://www.tup.com.cn>)。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

基于 ProModel 的系统仿真案例教程/王浩编著.--北京:清华大学出版社,2013
21 世纪高等教育应用型人才培养规划教材
ISBN 978-7-302-33161-2

I. ①基… II. ①王… III. ①系统仿真—软件工具—高等学校—教材 IV. ①TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 159320 号

责任编辑:梁 颖

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址:<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫丰华彩印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.75 插 页:1 字 数:533 千字

版 次:2013 年 8 月第 1 版

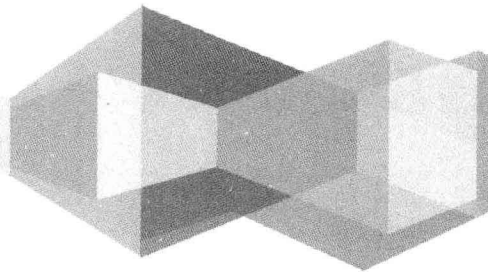
印 次:2013 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:49.00 元

献给我的妻子、女儿和家人
——为她们一直以来的关爱、支持和鼓励。

前言



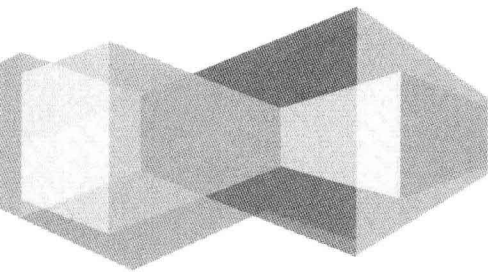
管理系统的复杂性、动态性和多变性是管理科学技术性的主要源泉,而如何进行有效、高效和可行的分析研究是科学管理的基本前提,系统仿真技术正是以其普遍易行的技术方法和手段在当今的管理领域得到了相当的重视和迅猛的发展。而对于包括工业工程、物流管理、人力资源、旅游管理、市场营销等专业类别的工商管理大类的人才培养来说,如何使得学生在有限的课时内基本理解和掌握一个普及实用的系统仿真分析工具软件,使得专业培养得以增加“技术含量”,而毕业生能够真正具备有“杀伤力”的差异化能力,这不得不说是有一个诱人前景的教改课题。

从教改创新的实践来看,核心问题是教学内容及方法的创新规划和设计常常受制于没有适用的教材和教学素材。本书基于以上思考,在多年课程教学实践的基础上,总结教学心得和学生学习规律,通过整理、修改、补充完善积累的讲义和素材资料,用生动亮丽、形象可视的表现方法使得细致、繁杂的知识内容跃然纸上,编辑出版,以补相应教材的空缺。

系统仿真是工业工程、物流管理专业,也包括工商管理大类的其他专业在流程、设施的规划、设计、分析、优化和改善工作上关键的技术方法,是专业基础必修课,本是应用技能性的知识,能够用起来的关键是选择适合的软件工具。但是根据多年的教学实践和调研,国内大学课堂上的相关教学普遍存在理论讲授、实践缺乏的现象,难以达成课程教学的目标。主要原因就是缺乏相应的实验性课程教材,不能支撑课程教学需要。

ProModel 是在美国大学课程中普遍采用的系统仿真软件,有很多独到的优点和商业价值,但是使用起来有一定的复杂性,特别是对于初学者。虽然该软件在国内一些高校(主要是 211 院校)相关专业教学中已经导入多年,也有个别引进的英文原版教材,但并不适合国内高校普遍的教学需求,而且一直缺乏相应的公开出版的适用配套教材。

正所谓“I hear and I forget, I see and I remember, I do and I understand!”。作者希望通过将多年的实际教学过程中不断修订的教学讲义及案例进行整理、补充完善,以案例讲授和练习为教学的任务驱动,



贯穿始终,使得学生能够从具体、细节的操作中确切理解、记忆基本的使用规则和方法。希望能够为广大初学者提供一条有效的路径,通过系统学习后达成基础的应用能力,也为后续的高阶学习和应用奠定基础。让知识成为能够用起来的能力!

本书除了大量的建模应用练习外,还有完整的理论体系内容,能够适合系统仿真课程理论教学环节和实验教学环节的完整需要。

本书共分9章。第1章介绍了系统仿真的发展历史、价值和应用现状,给读者一个总括的认识。第2章阐述了相关的理论知识,包括离散事件系统的基本概念、仿真的机理、一般步骤和数学理论基础。第3章对目前的主流系统仿真软件进行了一般性介绍,使读者能够有完整的常识性信息。第4~7章用最长的篇幅,对ProModel软件功能进行了详尽的讲解,是后续练习的基础和答疑信息源。第8章通过大量的不同设计的案例建模练习,希望使读者能够在多练多思中基本理解和掌握ProModel软件的功能、规则和应用方法。第9章是提高篇。通过4个大的接近实际的案例练习,使得读者能够进一步加深、补充和提高对ProModel的应用能力。

本书由王浩主持编写,张媛、李燕老师参与了第2章的编写和校对,由邱庆庆参与了第9章的案例准备、编写并校对。此外,在教材编写过程中,作者参考了大量相关文献资料,在此向原文作者表达最由衷和真挚的谢意!

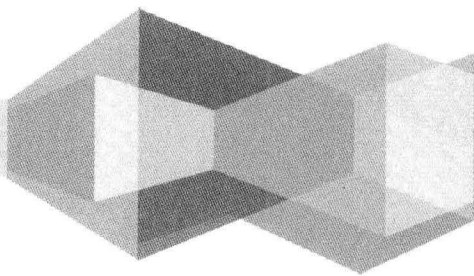
另外,还要特别感谢在本书的编写和出版过程中,上海派朵信息科技有限公司(ProModel软件大陆地区总代理, www.pdits.com)给予的大力协助,从而使本书获得了美国ProModel公司对相关英文资料和教学版软件的出版许可。

系统仿真是有着深厚理论基础并迅猛发展的专业前沿技术,由于作者教学时间不长,专业水平所限,对于书中错误和不当之处,敬请广大读者、同行和老师们批评指正。

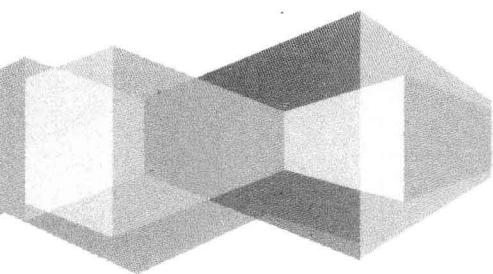
王 浩

2013年4月于四川大学锦城学院

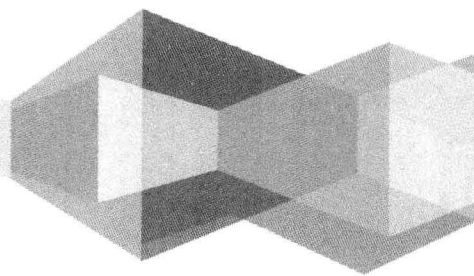
目 录



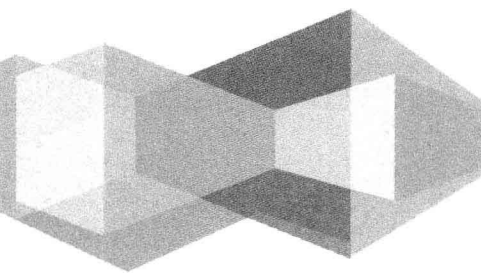
第 1 章 系统仿真概述	1
1.1 系统仿真技术的发展历程	1
1.2 系统仿真技术的必要性	1
1.3 计算机仿真技术的作用和价值	2
1.4 系统仿真技术的局限性	5
1.5 系统仿真技术的应用	5
1.5.1 系统仿真技术在技术领域的应用	5
1.5.2 ProModel 系统仿真软件的企业应用	7
第 2 章 离散事件系统仿真	10
2.1 基本概念	10
2.1.1 系统	10
2.1.2 系统仿真	10
2.1.3 系统模型	11
2.1.4 系统、模型和仿真之间的关系	11
2.2 仿真的类型	12
2.2.1 连续系统仿真	12
2.2.2 离散事件系统仿真	13
2.2.3 离散事件系统与连续系统的区别	14
2.2.4 离散事件系统的五要素	14
2.2.5 三种典型的离散事件系统	16
2.3 仿真的机理	25
2.3.1 确定性活动与随机性活动	25
2.3.2 随机概率分布	26
2.3.3 随机数	33
2.3.4 仿真时钟	34
2.3.5 手工仿真	35
2.4 仿真的一般步骤	40
2.4.1 一般工作流程	40



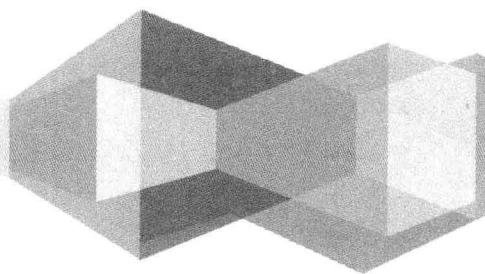
2.4.2	步骤 1: 研究规划	40
2.4.3	步骤 2: 定义系统	44
2.4.4	步骤 3: 建立模型	47
2.4.5	步骤 4: 运行实验	49
2.4.6	步骤 5: 分析输出	53
2.4.7	步骤 6: 报告结果	53
2.4.8	仿真中的陷阱	54
2.4.9	总结	54
第 3 章	仿真软件介绍	55
3.1	系统仿真软件的分类	55
3.2	仿真软件的评价项目	56
3.3	仿真软件的发展趋势	57
3.4	典型离散事件系统仿真软件简介	58
3.4.1	Flexsim 仿真软件	58
3.4.2	Arena 仿真软件	59
3.4.3	Extend 仿真软件	61
3.4.4	Witness 仿真软件	63
3.4.5	AutoMod 仿真软件	63
3.4.6	ProModel 仿真软件	65
3.4.7	RaLC(乐龙)仿真软件	68
3.4.8	eM-Plant 仿真软件	68
第 4 章	ProModel 导入: 安装和界面	70
4.1	安装与注册	70
4.1.1	一般要求	70
4.1.2	本地单机安装	70
4.1.3	网络服务器版安装	71
4.2	使用与全貌	71
4.3	建立模型	77
4.3.1	阶段 1: 基本的模型要素	79
4.3.2	阶段 2: 添加资源和可变性	82



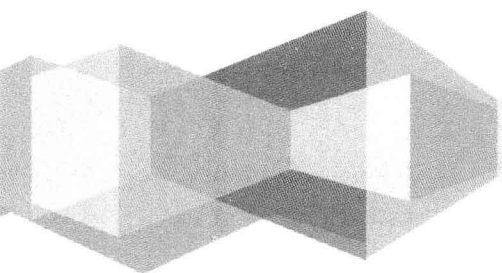
4.3.3	阶段 3: 附加操作	84
4.3.4	阶段 4: 运行模型	86
4.3.5	阶段 5: 观察输出统计数据 and 报告	89
4.4	建模环境	89
4.4.1	File(文件)	90
4.4.2	Edit(编辑)	94
4.4.3	View(显示)	95
4.4.4	Output(输出)	101
4.4.5	Tools(工具)	101
4.4.6	Window(窗口)	101
4.4.7	Help(帮助)	101
4.4.8	快捷菜单	102
第 5 章	ProModel 导入: 基础建模要素	103
5.1	Build(建模)	103
5.2	Locations(位置)	103
5.2.1	位置编辑器	104
5.2.2	位置编辑表	104
5.2.3	设置关于位置的优先等级	109
5.2.4	规则对话框	111
5.3	Entities(实体)	114
5.4	Path Networks(路径网络)	117
5.5	Resources(资源)	120
5.6	Processing(处理)	126
5.7	Arrivals(到达)	131
5.8	Shift(轮班)设置	132
5.8.1	Shift Editor(轮班编辑器)	132
5.8.2	Shift Assignment(轮班分配)	133
5.8.3	定义优先等级	135
5.8.4	轮班和休息逻辑	135
5.8.5	下班停工时间规则	136
5.9	General Information(通用信息)	137



5.10	Cost(成本)	138
5.10.1	Cost(成本)对话框	138
5.10.2	成本输出	140
5.11	Background Graphics(背景图)	140
第 6 章	ProModel 导入: 高级建模要素	144
6.1	Attributes(属性)	144
6.2	Variables(变量)	145
6.3	Arrays(阵列)	147
6.4	Macros(宏)	149
6.5	Subroutines(子程序)	151
6.6	Arrival Cycles(到达循环)	154
6.7	Table Function(表函数)	156
6.8	User Distribution(用户定义分布)	158
6.9	Extend Files(外部文件)	160
6.10	Streams(随机数流)	161
6.11	Expression/Statements(表达式和语句)	162
第 7 章	ProModel 导入: 运行和输出	166
7.1	运行模型	166
7.1.1	Simulation(仿真)	166
7.1.2	Options(选项)	166
7.1.3	Model Parameters(模型参数)	169
7.1.4	Scenarios(方案)	170
7.1.5	Run(运行)	171
7.2	运行时的菜单和控制	171
7.2.1	运行时的菜单	172
7.2.2	运行时的快捷菜单	176
7.2.3	运行时的控制	176
7.3	输出观察器 3DR	177
7.3.1	File(文件)	177
7.3.2	View(视图)	178



7.3.3	Tools(工具)	179
7.3.4	Window(窗口)	181
7.3.5	工具栏	181
7.3.6	快捷菜单	181
7.4	报告和图表	183
7.4.1	数据表格	183
7.4.2	创建图形	187
第 8 章	ProModel 建模实验练习	191
8.1	Lab1: 理发店仿真 Barber Dan	191
8.2	Lab2: 自动柜员机仿真 Bank Of ATM	198
8.3	Lab3: 管理决策仿真案例 Call Center	203
8.4	Lab4: 生产系统仿真案例 Furniture Factory	206
8.5	Lab5: 仿真生产系统案例 Machine Shop	211
8.6	Lab6: 仿真结果输出模式练习	214
8.7	Lab7: 基础建模要素练习 Bank of India(1)	229
8.8	Lab8: 基础建模要素练习 Pomona Electronics	232
8.9	Lab9: 基础建模要素练习 Poly Casting Inc. (1)	236
8.10	Lab10: 基础建模要素练习 Segundo Composites	239
8.11	Lab11: 基础建模要素练习 Calcutta Tea Company	242
8.12	Lab12: 基础建模要素练习 San Dimas High School	244
8.13	Lab13: 基础建模要素练习 Shipping Cases Shop	246
8.14	Lab14: 典型生产单元仿真 Machine Factory	249
8.15	Lab15: 搬运设施建模练习 Wang's Export Machine Shop	253
8.16	Lab16: 基础建模要素练习 Bombay Restaurant	257
8.17	Lab17: 基础建模要素练习 Shipping Boxes Unlimited	260
8.18	Lab18: 基础建模要素练习 Poly Casting Inc. (2)	263
8.19	Lab19: 基础建模要素练习 Bank of India(2)	265
8.20	Lab20: 基础建模要素练习 Bank of India(3)	267
8.21	Lab21: 基础建模要素练习 Bombay Clothing Mill	270
8.22	Lab22: 仿真输出分析练习 Spuds-n-More Seashore	272
8.23	Lab23: SimRunner 应用练习	277



8.24	Lab24: 高级建模要素练习(Shift)	282
8.25	Lab25: 高级建模要素练习(Attributes)	286
8.26	Lab26: 高级建模要素练习(User Distribution)	289
8.27	Lab27: 高级建模要素练习(RTI 宏参数)	292
8.28	Lab28: 高级建模要素练习(Cost)	296
8.29	Lab29: 高级建模要素练习(Clock Downtime)	299
8.30	Lab30: 高级建模要素练习(Subroutines)	302
8.31	Lab31: 仿真输入数据分析练习(Stat::Fit)	305
第9章 ProModel 建模案例研究		312
9.1	案例一: 餐厅接待现场仿真	312
9.2	案例二: 生产系统改善仿真	317
9.3	案例三: 生产物流系统优化仿真	325
9.4	案例四: 带天车(行车)的生产库存系统优化仿真	330
参考文献		337

第 1 章 系统仿真概述

本章为导入性内容,主要介绍系统仿真技术的相关常识,如起源、必要性、作用和价值及其应用等。

1.1 系统仿真技术的发展历程

早在中国古时候,先人们就开始使用系统仿真的方法进行过一些研究工作。比如熟悉的中国象棋就是最早的军事沙盘游戏;在有关清朝造办处的档案中还保留着完整的故宫修缮的纸木模型,在当时用于仿真研究房屋的结构及承载力。但是,真正现代意义上的系统仿真技术起源于 20 世纪 40 年代的美国。

冯·诺依曼,这位匈牙利出生的美籍科学家,在 20 世纪 40 年代,不仅开创了现代计算机理论及其体系结构,而且也预见了计算机仿真技术的深远影响。随后,美国在 20 世纪 50 年代成立了仿真学会,并于 20 世纪 60 年代开始出版最早和最权威的仿真学术期刊 *SIMULATION*,标志着系统仿真已逐渐成为独立的学科。

时至今日,计算机仿真技术已经成为各学科、专业领域普遍推广的可视化、分析、优化 (Visualize, Analyze, Optimize, VAO) 技术手段,也是 21 世纪制造业的十大关键技术之一,甚至还深入到我们日常丰富多彩的生活中,例如那些惊险、逼真的 3D 和球幕电影、大型游乐设施。

1.2 系统仿真技术的必要性

什么是系统仿真?系统仿真是建立在控制理论、信息技术和计算机软硬件技术基础之上的,以计算机和其他物理模型或设备为工具,利用系统模型对真实或假设的系统进行试验并输出结果数据,并借助于专家的知识、经验和信息资料对实验结果进行分析研究,进而优化设计、决策或改善现状的一门综合技术学科。

人类在改造自然和社会的活动中,需要面对很多复杂的系统,而且经常关注的是该系统输入量值和输出量值之间的关系及规律,比如飞行器结构系统、房屋结构系统等。一般来说,研究方法是,要么直接针对这个现实的系统进行实际的试验,观测相关的输入和输出,得出相应的结论,比如飞机原型机静力破坏试验。要么就是通过建立模拟某个现实系统的试验模型,再进行相关研究,比如建筑结构的抗震破坏试验、军事电子沙盘对抗演习,特别是电

子计算机技术普及推广的今天,基于计算机的系统仿真技术在各个学科的研究领域中得到了更为广泛、全面和深入的实践应用。这是因为,在很多情况下对真实系统进行实际试验研究往往是不可行的。

(1) 风险过大,无法承受。例如,建筑的结构强度研究、军事对抗研究、社会经济系统研究、自然生态系统试验、自然灾害系统试验。

(2) 投入成本巨大。例如,水利系统试验研究、航天器设计及飞行研究、飞机空气动力学研究。

(3) 周期太长。例如,流域生态系统研究、交通运输系统研究等。

(4) 没有真实系统参照。例如,新系统的创新性设计中,需要为最后的决策进行实施前的优化和验证分析。

1.3 计算机仿真技术的作用和价值

虽然可以基于模拟真实系统的试验模型进行相关分析和研究,但是在科研、生产和管理实践中经常还是没有可行性,如搭建物理模型的资金成本太高,或者是模型运行的时间太长。例如,人们在建造一个建筑物或一个装置以前总要先做一个整体的模型,它在尺寸、材质等方面都作了简化,然后在这个模型上进行各种实验,以便在建造以前就得到该新建筑物(新装置)性能的各个参数,从而有力地支持设计方案,这就是构造物理模型来求解系统,这个方法被系统地应用到各类工程设计中,但是它的应用只限于物理系统的求解。但是对于创新型系统就难以搭建物理模型了。

建立系统的数学模型,用它来描述系统,同时采用数学模型来分析、求解系统也是人们长期使用的主要的系统求解方法。已有的数学工具尤其是微积分方程已成功地描述了一些简单系统,如连续变化系统,并成为这类系统的主要求解方法。

但是对许多复杂系统,无论是建立数学模型还是数学模型的求解都有很大困难,而计算机的出现为仿真技术提供了强大的工具,仿真技术的应用范围随之扩展。一些无法用现有的数学工具建立数学模型的系统,往往都采用仿真模型,就是在计算机上再现真实系统,并模拟真实系统的运行过程,从而求解系统。这样的系统分析技术可以:

(1) 用于理解研究实际系统,可对其进行 What-if 分析,为决策以及优化和改善活动提供数据支持

现实系统复杂多变,如图 1.3-1 所示,往往很难当时把握和理解各种系统要素。通过系统仿真的方法可以把系统复杂的动态过程再现出来,理解认识,并通过改变各种输入和特征参数来重复运行仿真过程,对比分析结果输出,来识别关键要素和瓶颈资源,为决策和优化提升服务。

(2) 用于对一个系统的多种设计或优化方案进行比较研究

现实系统总是处于不断的改善提升中,而对于新系统的设计更是面临多种方案的选择和优化,通过系统仿真的方法可以快速、低成本地实现现实系统的模拟,并通过仿真运行和结果输出出来为决策者提供一个全面、可信的数据支持,如图 1.3-2 所示。

(3) 对于现实存在,但难以进行实验的系统进行分析研究

一些现实系统不可以进行试错实验,例如,核武器系统、军事战斗系统、自然灾害系统、国民经济系统等,为了制定危机预案,减少危机损害,只能在系统模型上进行相关的模拟仿

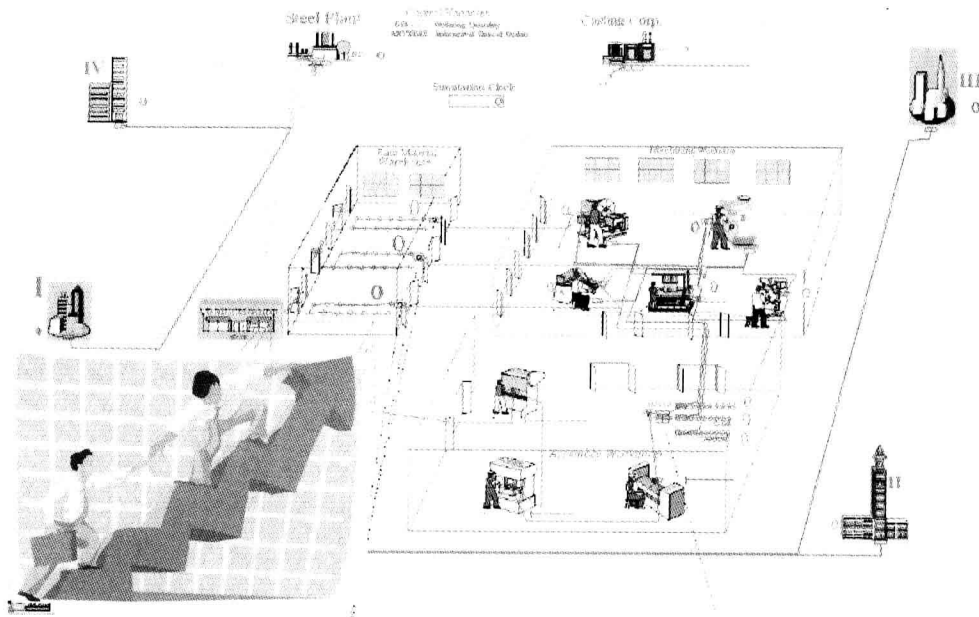


图 1.3-1 设施规划仿真案例截屏

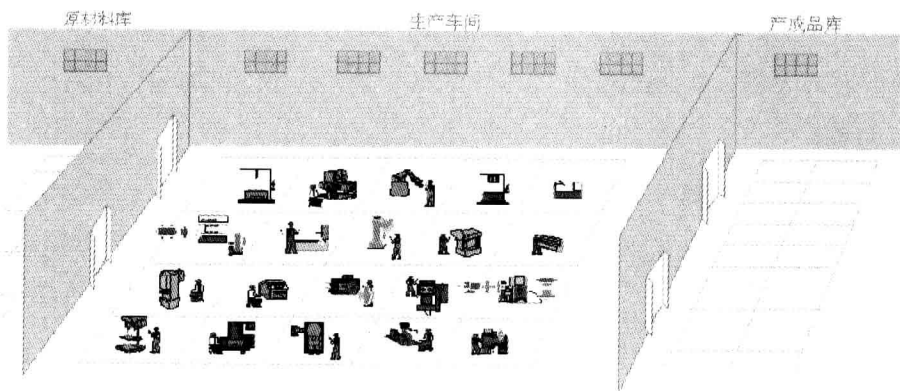


图 1.3-2 生产设施规划仿真案例截屏

真实验,并分析输出数据。这时,仿真就是不可替代的研究工具。如图 1.3-3 所示为供应链优化的仿真分析。

而随着计算机技术的发展,在相应的软硬件条件都非常普及的今天,利用计算机这个专门负责信息处理的设备,来完成系统仿真过程中的数据采集、输入处理、模型建立、运行展演、数据计算、数据输出、数据表现等一系列专业技术动作,从而从根本上解决建模和试验运行的难题。

经过近 20 年的发展,今天的计算机仿真技术已经非常普及和成熟,针对不同学科技术领域和行业特点,研发推广了各种各样的专业系统仿真软件,使得深奥难懂的建模和算法的技术内容固化在软件中,让整个过程变得浅化易行,具有实用和普及意义,能够更好地为实际工作服务。通过长期的实践工作,人们总结出以下计算机仿真的特有价值:

- ① 快,速度快。
- ② 省,花钱少。
- ③ 好,结果优。
- ④ 小,破坏小。
- ⑤ 低,风险低。
- ⑥ 先,预设计。

更重要的是,计算机仿真的目的不仅仅是获得一个决策依据,而且还可以把成果能可视化地展示出来,更有效地对复杂系统的动态性进行交流与沟通,从而进行关键点的把控,为决策者提供更佳的决策支持。特别是对于一个新系统设计的建议方案,如果采用仿真技术,就会如真实一般的展示出其是如何运作的,这就必然使该方案更易被理解和采纳。

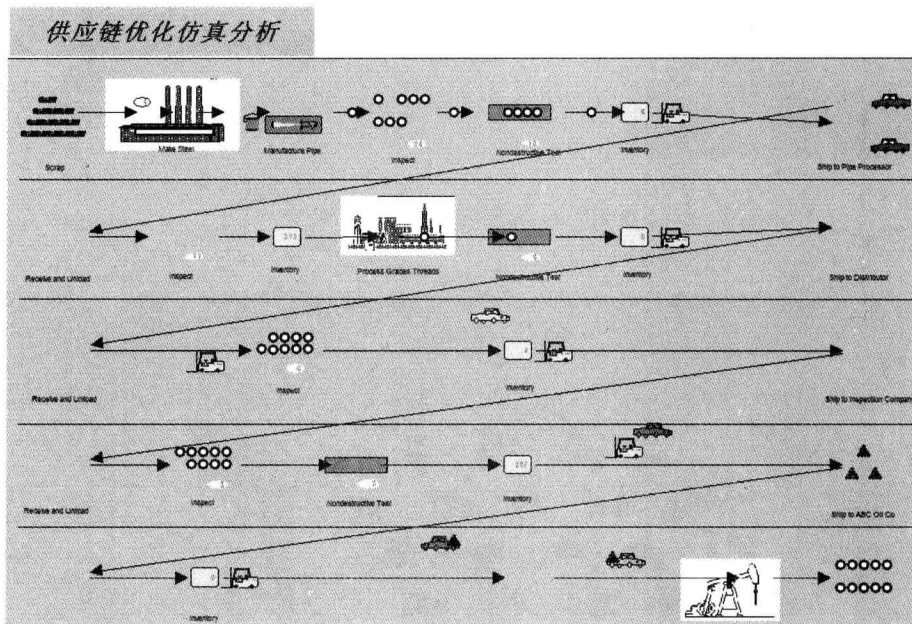


图 1.3-3 供应链优化仿真分析案例

计算机仿真在运营管理中的应用,主要集中在运营决策上,它解决的是离散事件系统的性能分析和系统的优化设计两方面的问题,包括设计、改进运营系统(包括零售、服务、生产、仓储和物流系统),运作管理的流程化、标准化改善,如订货、发货、生产、顾客服务等领域。

近年来,计算机仿真作为一种管理决策工具,已经在很多国外企业得到了大量应用,特别是作为一个评估决策工具在制造业和服务业得到广泛的应用。现在对于许多国外公司来说,当作出一项生产决策,如设计一个新的生产方案和对生产系统进行一些改进变化时,仿真就成为决策过程中的一项标准程序。

如今欧美日等国家大学的物流和工业工程专业学生,对相关专业仿真软件的学习也已成为普遍和重要的内容。

1.4 系统仿真技术的局限性

(1) 建模的时间较长,专业性很强

定义及建立系统模型除了需要相关专业领域和仿真领域的知识,而且还要非常熟悉、理解现实系统,往往要通过长期细致的工作才能较好完成系统定义和模型建立。

(2) 仿真得到的不是最优解

虽然仿真工具可以起到改善和评价的作用,但是仿真的 What-if 研究方法,往往得到的不是理论上的最优解,而是现实中的更优解。

(3) 仿真要求完备的数据和信息

由于现实系统的复杂性和多面性,所以对其进行模拟的仿真也要求必须从现实系统中采集足够的数据和信息,作为系统定义、模型建立和仿真输入之用,这往往是仿真可信性的基础,也是仿真前期工作的主要内容。

(4) 被不当使用的误导性风险

如果不能正确地建模,那么仿真输出的结果就会误导决策者的决策意志,带来额外的决策风险。

1.5 系统仿真技术的应用

1.5.1 系统仿真技术在技术领域的应用

系统仿真技术经过 50 多年的发展,今天已经在工程技术、服务管理、物流管理、制造管理、社会管理等领域被广泛和深入地应用,已经在各行业做出卓越贡献,同时也充分体现出其在科技发展与社会进步中的重要作用。

尤其是近 20 年来,随着计算机技术的发展和普及,计算机仿真技术更得到了迅猛发展。系统仿真技术已从最早的工程技术领域扩展到管理科学领域,并得到了广泛的应用,使得系统仿真技术具有了日益强大的生命力,正在成为科学管理不可或缺的技术手段。

(1) 系统仿真技术在系统设计中的应用

比较各种方案的定量分析结果,优化设计方案,进行具体的可行性论证分析。

(2) 系统仿真技术在系统分析中的应用

对系统仿真模型进行试验,并进行定量的输入和观测,解析系统结构及其活动输出,从而对系统进行科学评价。

(3) 系统仿真技术在教育培训中的应用

通过建设用于专业训练的仿真软硬件设施,为培训对象提供操作控制、管理与决策的模拟系统,从而达到训练、教育与培养的目的。改善早期培训的高成本、长时间和高风险的培训方式。例如,航空、航天、航海、地面交通工具和武器系统的驾驶操纵训练,又如企业管理人员的沙盘模拟训练。

在美国有超过 200 家以上的大学采用 ProModel 系统仿真软件进行教学和科研,其中包括许多世界一流的高校,例如: