



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

智慧物流：现代物流与供应链管理丛书

普通高等教育物流管理专业规划教材

物流系统建模与仿真

Logistics System Simulation Modeling

鲁晓春 黄帝 编著



配套教师用

PPT

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

非
外
借

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

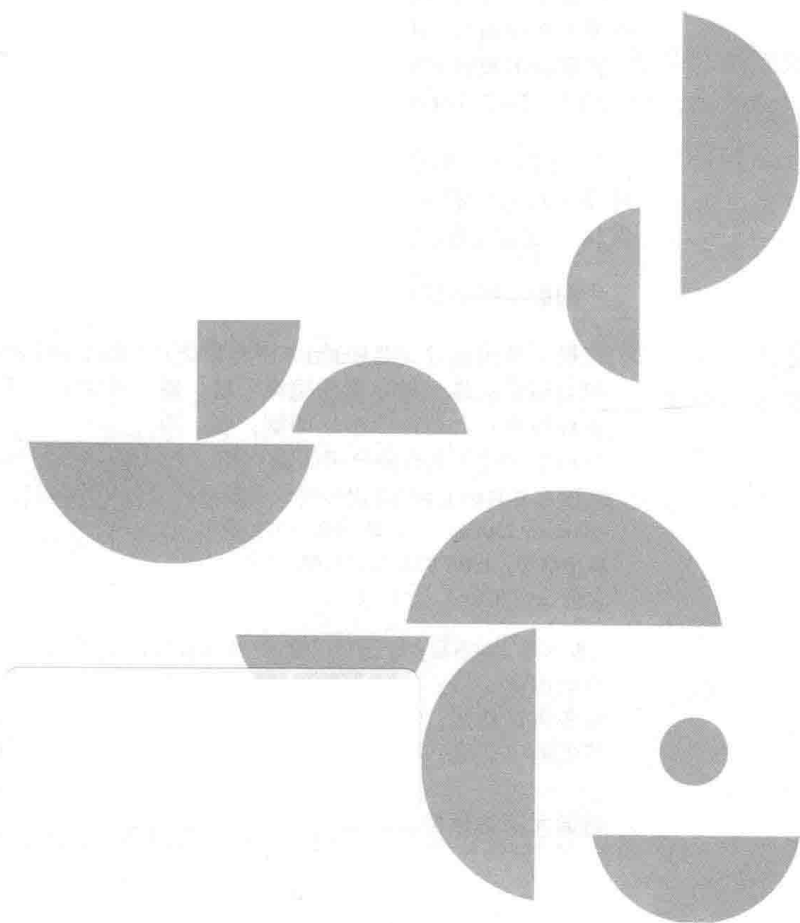
智慧物流：现代物流与供应链管理丛书

普通高等教育物流管理专业规划教材

物流系统建模与仿真

Logistics System Simulation Modeling

鲁晓春 黄帝 编著



本书是编者在多年教学经验基础上精心完成的一本教材。本书的特点是将数学模型与计算机仿真建模有机融合,避免单纯的数学模型推导,使没有编程基础的读者也能轻松掌握仿真建模技术。

本书包含两个部分,第一部分介绍如何使用 Excel 构建离散事件的物流系统仿真模型,具体内容包括物流系统仿真的基本原理,如何使用 Excel 产生均匀分布随机数、正态分布随机数等,如何构建概率仿真模型,如何构建泊松到达过程仿真模型,如何构建基于排队论系统的仿真模型,如何构建库存仿真模型等。尽管 Excel 的功能很强大,但是现在一些专业仿真软件可以完成更多的仿真工作,因此,本书第二部分介绍了 Flexsim 仿真建模方法,内容包括 Flexsim 仿真软件的基础知识和操作方法,如何使用 Flexsim 进行生产系统、仓储作业或资源限制的物流系统的仿真建模,尤其增加了在 2016 版之后出现的过程流建模内容。

本书适用于普通高等院校物流管理与工程专业的本科生及研究生学习,也可供从事物流管理工作的企业管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

物流系统建模与仿真/鲁晓春,黄帝编著. —北京:
机械工业出版社, 2018. 6
普通高等教育物流管理专业规划教材
ISBN 978-7-111-60324-5

I. ①物… II. ①鲁… ②黄… III. ①物流-系统
建模-高等学校-教材 ②物流-系统仿真-高等
学校-教材 IV. ①F253. 9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 139256 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 易敏 责任编辑: 易敏 陈文龙 王小东
责任校对: 孙丽萍 责任印制: 张博
三河市宏达印刷有限公司印刷
2018 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 230mm · 19.25 印张 · 400 千字
标准书号: ISBN 978-7-111-60324-5
定价: 49.80 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前 言

计算机仿真是一种借助计算机并利用系统模型对实际系统进行研究的方法，一些学术论文或者著作又称之为计算机模拟。在物流系统分析、建模时，借助计算机仿真技术，建立物流系统模型进行量化分析，可为人们认识物流系统提供一种新的手段和方法，所以很多高校开设了物流系统仿真（或者物流系统模拟）等类似课程。

本书是作者在北京交通大学对物流管理专业本科生及研究生十多年授课经验的基础上编写而成的。

在开设物流系统仿真课程的过程中，本书作者为了选择教材，对众多国内外同类教材进行过比较和筛选，发现普遍存在两类教材：

一类教材是面向计算机专业编写的，教材重点是计算机仿真的理论、离散事件系统仿真的算法。有些教材有相当多的内容在重复概率统计理论，学生在学习时，不知道这些内容与仿真建模有什么关系；还有些教材的目标则是培养仿真软件开发者，用 C 语言或 Java 等通用计算机语言进行仿真建模。

另一类教材则是教学生如何使用一些物流仿真软件，教会学生进行软件操作，对于仿真建模原理涉及不多。

作者感到上述两类教材对于经管类专业学生均不太适用，一是经管类专业学生的编程基础比较薄弱，他们不是软件开发者，应该让学生不需要有深厚的计算机编程基础，也能够具备物流系统的仿真建模能力。另一方面，如果在课程中不讲授计算机仿真实理论，仅仅学习专业仿真软件的操作、使用，这种学习不具有可持续性和发展性，计算机仿真实理论的学习是保证学生能够具有研究能力和建模能力的基础。

基于以上考虑，经过十多年教学经验的积累，作者编写了本教材。

为了避免学生陷于计算机编程语言的困扰，本书用 Excel 作为基础工具，教授计算机仿真的基本理论和仿真建模方法；为了避免理论的枯燥，在教材中给出了一些有趣的仿真模型，例如生日问题、公主选驸马问题。这样做的好处显而易见：一方面，用 Excel 作为仿真建模工具，实现了建模学习的零门槛，大大降低了学习难度，书中的例子也大大增加了仿真建模的趣味性，学生既可以掌握仿真建模的理论，又能够培养建模能力；另一方



面,使用 Excel 作为建模工具,学生对 Excel 逐步精通,这为后面进行仿真分析打下良好的基础。计算机仿真的数据分析非常重要,仿真建模仅仅完成了一部分工作,最终的数据分析才是重中之重,所以,本书对于计算机仿真建模能力和数据分析能力的培养都大有裨益。

尽管 Excel 在学习物流仿真的原理时非常有效,但是也有局限。Excel 只适合构建简单的仿真模型,对于复杂的仿真模型则需要借助专业的仿真软件。本书在第五章之后,将介绍如何采用 Flexsim 仿真软件进行物流系统建模。Flexsim 仿真软件简单、易学,既可以通过参数设置构建模型,也可以通过编写简单的脚本程序建模,适合本科生的学习,对于其他一些初学者也是很好的专业仿真软件。

本书的特点是将概率论、随机过程、仿真原理等理论知识与计算机建模的实践相结合,避免用数学推导代替仿真建模。在撰写本书时,作者对数学模型和计算机仿真模型的关系是这样看待的:①在建立计算机仿真模型时,必须以数学模型为指导,以运筹学、随机过程等数学模型为计算机仿真提供建模依据,没有数学模型的计算机仿真模型是没有任何意义的;②计算机仿真模型完成后,必须与数学模型进行相互验证,如果二者不能很好吻合,那么数学模型和计算机仿真模型二者必然有一个存在问题,或者二者均存在问题。从研究物流系统的线路图、技术路线来看,其数学模型和计算机仿真模型需要相互验证,二者缺一不可。如果将解决物流系统问题视作爬山,依靠运筹学、概率论、随机过程建立数学模型是沿山的北坡攀登,而建立计算机仿真模型则是从山的南坡攀登,二者最终应该在山顶汇合,这样才能认为问题得到完美解决。

本书的教学内容建议按照 32 课时安排,教学内容分为两部分,第一部分是第 1~4 章,共 16 学时;第二部分是第 5~6 章,共 16 学时。第一部分的主要内容是学习使用 Excel 进行计算机仿真建模,其中第 1、2 章,建议教学学时为 6 学时;第 3 章建议教学学时为 4 学时;第 4 章建议教学学时为 6 学时。第二部分的主要内容是学习使用 Flexsim 进行仿真建模,建议每章教学学时均为 8 学时。本书没有对 Flexsim 的基本操作进行介绍,以避免把本书写成一本软件操作手册,但在教学时,建议教师结合 Flexsim 随机帮助文件、软件使用手册,给学生补充一些 Flexsim 的基本概念和基本操作。

本书中使用到了 Crystal Ball 软件,该软件是 Oracle 公司的仿真软件,该软件可以在 Excel 中进行蒙特卡罗模拟,软件下载地址:<https://www.oracle.com/cn/products/applications/crystalball/overview/index.html>,读者可以到该网站下载试用版。

本书用到的 Flexsim 仿真软件是美国 Flexsim 公司的产品,读者可以到网站 <https://www.flexsim.com/es/> 下载试用版。

本书第 2~5 章由鲁晓春编写,第 1、6 章由黄帝编写。另外,黄帝还负责各章的习题



及全书的修改、补充完善工作。

在本书的撰写过程中，我们得到了北京交通大学的北京物流信息化研究基地、北京交通大学物流管理与技术北京市重点实验室、国家自然科学基金（项目编号：71390334）、北京市社科基金（项目编号：17JDGLB014）的支持，在此表示感谢。

鲁晓春

2018年7月

目 录

前言	
第 1 章 概述	1
1.1 建模与仿真的概念	2
1.2 解析模型与仿真模型	3
1.3 仿真模型的优势	5
1.4 仿真模型的应用领域	5
1.5 仿真建模的三种方法	6
本章习题	8
参考文献	9
第 2 章 随机数与计算机仿真建模	
初步	10
2.1 随机数和蒙特卡罗模拟	10
2.2 蒙特卡罗模拟进行计算机仿真的原理	11
2.3 线性同余随机数生成法	13
2.4 利用 Excel 产生均匀分布随机数	17
2.5 利用 Excel 产生三角分布随机数	36
2.6 利用 Excel 产生正态分布随机数	37
2.7 利用 Excel 产生指数分布随机数	38
2.8 利用 Excel 产生泊松分布随机数	39
2.9 利用 Excel 产生经验分布随机数	48
本章习题	50
参考文献	50
第 3 章 排队论仿真建模	51
3.1 排队论概述	52
3.2 建立到达和服务过程的模型	55
3.3 等待时间悖论	61
3.4 单队列单服务台排队系统仿真建模	62
3.5 单队列双服务台排队系统仿真建模	78
3.6 仿真统计分析	84
本章习题	88
参考文献	88
第 4 章 库存系统仿真建模	89
4.1 库存模型的基本要素	90
4.2 恒定库存量模型	92
4.3 确定型库存模型(一):经济订货批量模型——EOQ 模型	103
4.4 确定型库存模型(二):允许缺货的 EOQ 模型	108
4.5 确定型库存模型(三):有数量折扣的 EOQ 模型	111
4.6 确定型库存模型(四):生产批量模型	114
4.7 确定型库存模型(五):联合补货模型	116



4.8 随机库存模型 (一): 单周期模型——报童模型	120
4.9 随机库存模型 (二): (R, Q) 模型	134
4.10 不同订货批量下最佳库存水平策略仿真模型	138
本章习题	147
参考文献	147
第5章 Flexsim 仿真建模基础	148
5.1 Flexsim 基础模型	149
5.2 标签 (Labels)	180
5.3 全局工具 (Global Modeling Tools) ...	189
5.4 用户事件 (User Events)	199
5.5 时间表 (Time Tables)	206
5.6 任务序列 (Task Sequence)	211
5.7 过程流 (Process Flow)	225
本章习题	261
参考文献	262
第6章 Flexsim 建模研究	263
6.1 资源限制的物流系统模型	263
6.2 仓储作业模型	273
6.3 允许返工的产品生产系统模型	283
6.4 具有操作员的产品生产系统	289
本章习题	297
参考文献	298



第 1 章

概 述

本章简介

本章主要介绍仿真的基本概念、原理和工具方法，使读者对物流系统的仿真有初步的了解。

本章要点

- 计算机仿真的应用范围和优点
- 计算机仿真的基本概念和原理
- 物流系统仿真的一般工具方法

系统一词，来源于古希腊语，是由部分构成整体的意思。一般系统论的创始人贝塔朗菲认为：“亚里士多德的论点‘整体大于它的各个部分的总和’是基本的系统问题的一种表述。”钱学森说：“什么叫系统？系统就是由许多部分所组成的整体，所以系统的概念就是要强调整体，强调整体是由相互关联、相互制约的各个部分所组成的。”我们通常把系统定义为由若干要素以一定结构形式联结构成的具有某种功能的有机整体^[1]。

系统思想简单来说就是把事物诸因素联系起来作为一个整体或系统来进行分析和综合的思想。系统思想要求人们注重系统（事物）的整体性（从整体上把握事物）、边界性（事物存在一定的空间和时间界限）和组织性（事物各要素之间的关系和联系）^[2,3]。而将系统思想应用到物流管理领域，就有了物流系统的概念。物流系统是指在一定的时间和空间里，由所需输送的物料和包括运输工具、仓储设施设备、输送设备、搬运装卸设备、流通加工设备、操作人员以及通信联系等若干相互制约的动态要素构成的具有特定功能的有机整体。

随着科学技术的进步，计算机发挥着越来越强大的作用，利用计算机强大的建模工



具，人们可以展现出一个个灵活的虚拟世界。在这个虚拟世界里，人们可以创造所能想到的一切。

这些虚拟的世界都是通过计算机模型实现的，这些计算机模型可以多种多样，例如，可以是模拟企业在未来一年的成本与收入而建立的 Excel 电子表格，也可以是研究用户消费的市场模型，甚至是对战场攻防布置等军事系统的模型。

在这些模型中，本书将讨论仿真模型及建模理论、方法，并进一步探讨其在物流系统中的应用。

1.1 建模与仿真的概念

建模是解决现实问题的一种方法，在许多情况下，因为某些原因只能通过建立反映现实世界的模型来解决现实问题。

在生活中，有两大类问题需要通过建模、仿真的方法解决，第一类问题是在现实生活中直接进行试验是不可能的，或者是得不偿失的问题，如测试车辆的安全性——碰撞试验，大楼的抗震性试验，航空、航天的仿真实验等。这类问题可以根据实际问题建立仿真模型，并利用模型进行试验，比较不同仿真结果，选择可行方案。

第二类问题是问题本身非常复杂（如经济问题、社会问题），并且存在非确定性的影响，已不能用数学运算达到准确的分析解（问题无法形式化），而需要通过计算机仿真，用数值运算得到数字解。

综合这两类问题，模型使得采用间接试验有了可能，也为模型求解提供了新的方法。在建模过程中，我们要对现实世界进行抽象处理，即忽视不相关的部分，保留重要的部分，使模型变得更为简单。现实世界转化为模型世界的过程如图 1-1 所示。在模型建好后或在模型构建的过程中，开始分析和了解原系统的结构和性能。为了检测模型的运行状况，需要将模型在不同的条件下运行，分析比较运行状况并根据运行情况进行优化。确定解决方案后，可以将其应用到现实世界中。建模的目标实际上就是在一个零风险、允许犯错、撤销、返回和重复的模型世界中找到解决实际问题的方法。

什么是仿真？仿真是一种重现系统外在表现的特殊模仿。上面所说的现实生活的模型经过抽象，转换为数学模型，在数学模型基础上，建立仿真模型，以再现现实生活中的管理和经济问题。

仿真在科学研究领域起着十分重要的作用，仿真过程主要由 3 步组成：建立模型、实验求解和结果分析。建立模型是对问题进行定量描述的过程，建立的仿真模型又会被分成不同的类型，如按照模型是否包含随机因素分，可以分为确定型模型和随机型模型；按照模型是否具有时变性，又可以分为动态模型和静态模型。

计算机仿真需要通过软件来实现，目前的仿真软件有多种，如用于建立离散事件流程

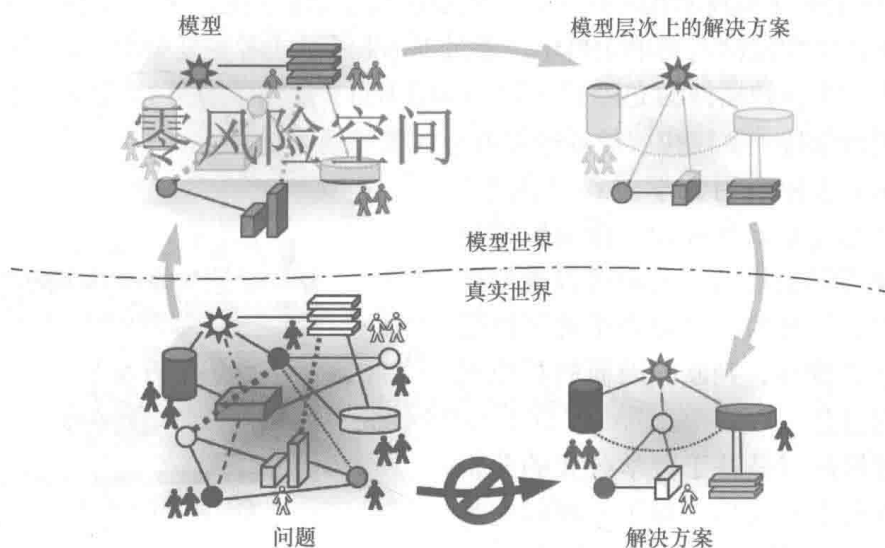


图 1-1 现实世界转化为模型世界的过程

过程的 Arena、Flexsim、Witness 软件，用于系统动力学建模的 Vensim 软件，基于 Agent 建模的仿真软件 AnyLogic、Swarm、Repast，结合 Excel 使用的 Crystal Ball 等，这些软件为实现计算机仿真提供了很好的支持。

在现实当中，有的学者认为“仿真”和“模拟”两个词含义不同，一个偏重硬件，一个偏重软件，但在英语中，二者都是 Simulation，在现实当中使用时，二者并无太大差异，例如电子电路上的“模拟电路”，其研究的内容是电路等硬件。也有的学者认为“仿真”更侧重于学术表达，而模拟则是日常用语，这种看法也并不全面，例如国家标准《飞行模拟器术语》(GJB 1849)中用的就是“模拟”一词。所以在本书中，不严格区分“仿真”与“模拟”这两个概念，因为在现实当中，这两个词表示的语境没有太大差异。

1.2 解析模型与仿真模型

上面谈到建模过程，那么通过计算机模型进行分析和求解是不是都属于仿真方法呢？一般而言，通过计算机模型进行分析的方法分为解析方法和仿真方法，模型自然可以分为解析模型与仿真模型，下面以 Excel 为例说明解析模型与仿真模型的区别。

1. 解析模型

Excel 是一个广泛使用的办公软件，其易于使用，有各种函数，支持 VBA 编程，可以将 VBA 程序作为宏函数加入到表格中，这使得 Excel 软件在企业管理、战略计划、销售预测、物流、营销策略和项目管理等领域得到了广泛应用。



Excel 所应用的建模技术相对简单，不能解决太复杂的问题。图 1-2 所示是 Excel 的建模模式，首先，将数据输入到单元格中，通过 Excel 函数或者更复杂的 VBA 程序等在另外的单元格输出。在各种插件的支持下（如 Crystal Ball、规划求解等），Excel 可以实现模型的参数化，进行蒙特卡罗模拟、仿真运算或小规模的运筹优化。

类似 Excel 这种采用数学方程（函数）进行求解的模型就是解析模型，使用解析模型可以精确地得到最终解，人们可以观测模型的每一步骤，最终的结果是否正确可以通过数学公式进行推导、判断，因而解析模型是一个透明的白盒。

然而，解析模型是基于数学公式的分析方法，它也有着局限性：对于一些问题难以找到解决方案，甚至不存在可能的解。具有代表性的是动态系统问题，其特点如下：



图 1-2 Excel 的建模模式

1) 行为的非线性。行为的非线性一般是指出现于非线性系统中的某些特殊行为表现，如人类社会、自然界就是非线性系统，自然资源的利用与环境污染之间表现出非线性关系，与人类社会生产力增长也表现出非线性的特点。

2) “记忆性”。

3) 变量间的非直观影响。

4) 时间依赖性和因果依赖性。

5) 需要输入大量参数，而且很多变量为随机变量，具有不确定性。

在大多数情况下，上述动态系统问题无法建立精确的数学模型，或者即使建立了数学模型，也无法找到精确的最优解。例如火车站载货汽车车队装卸作业的优化问题就很难使用解析方法去建立模型，火车时间表、装卸时间、送货时间和车站站台容量具有约束限制，载货汽车到达及作业时间具有随机性，在特定的地点、日期和时间下，载货汽车车辆是否可用取决于一系列先前事件，将空闲载货汽车车辆发往火车站则需要分析一系列的未来事件。

2. 仿真模型

解析模型用于表达不同变量间的静态依赖关系，而不能描述具有动态行为的系统，所以需要通过对仿真模型来分析动态系统。

仿真模型可以构建和运行一个动态系统，观察系统状态变化的轨迹，仿真系统程序编写了一系列的从当前状态转换为未来状态的转换规则，规则可以包含多种形式：微分方程、状态图 (Statechart Diagram)、流程图 (Process diagram)、协同 (Synergism)。仿真模型运行时可以生成动态可视化图，直观展示系统的变化状态。



仿真模型需要采用专业软件工具来实现，仿真程序也需要不断练习，才能建立很好的仿真模型。但是，当做出高质量的动态系统模型时，努力和付出都是值得的。

本书在第一部分将介绍如何使用 Excel 进行仿真建模，这里是通过 Excel 学习仿真建模的基本原理，但并不表明仅仅通过 Excel 就可以做出任何仿真模型。通过本书的学习将会发现，用 Excel 建立一个单队列或单服务台的排队论模型尚能实现，但是如果要建立两个以上服务台或者两个队列的模型，Excel 就很难完成建模任务。此外，Excel 当要构建一个复杂的仿真模型时，不可避免地需要借助一些插件进行仿真，这样也会造成模型运行缓慢，难以控制，最后因模型过于复杂而无法实现。

1.3 仿真模型的优势

仿真模型有 5 个主要优势：

- 1) 仿真模型可以分析和解决用解析模型（如线性规划等）无法解决的问题。
- 2) 在确定抽象模型（概念模型）后，建立一个仿真模型比建立一个解析模型更加容易。只需要按照系统的逻辑关系（事件流程顺序、对象逻辑关系）就可以开发一个可扩展的、增量式的、模型化的仿真模型。
- 3) 仿真模型的结构比较直观，能够自然反映仿真对象的系统结构。仿真模型大都采用可视化语言，可以更好地实现模块内部与外部的交互。
- 4) 在仿真模型中，可以在对实体对象进行统计、跟踪，而且也可以随时增加统计变量，进行统计分析。
- 5) 采用动画方式显示仿真对象的系统行为，将动画运用到仿真模型演示、验证和调试中。

1.4 仿真模型的应用领域

仿真模型在广泛和多样化的应用领域中积累了大量的成功实例，随着新的建模方法和技术的出现以及计算机性能的改进，仿真模型将进入更多的领域。图 1-3 所示为仿真模型的应用领域。

如图 1-3 所示，在低层的是低抽象层次模型，即用最大化细节来代表真实世界的事物。在这一层次中，考虑的是物理模型的对象交互、速度、距离和时间，如一辆汽车的底盘在道路上的通过性能、地铁车站客流的到达与离开、大型体育活动的应急疏散过程、路口的交通信号灯控制以及战场上士兵的行为等，都属于这类低层次抽象建模问题。

在最上层的是高抽象层次模型，典型的如顾客人数和服务人员数这类集合对象（不只

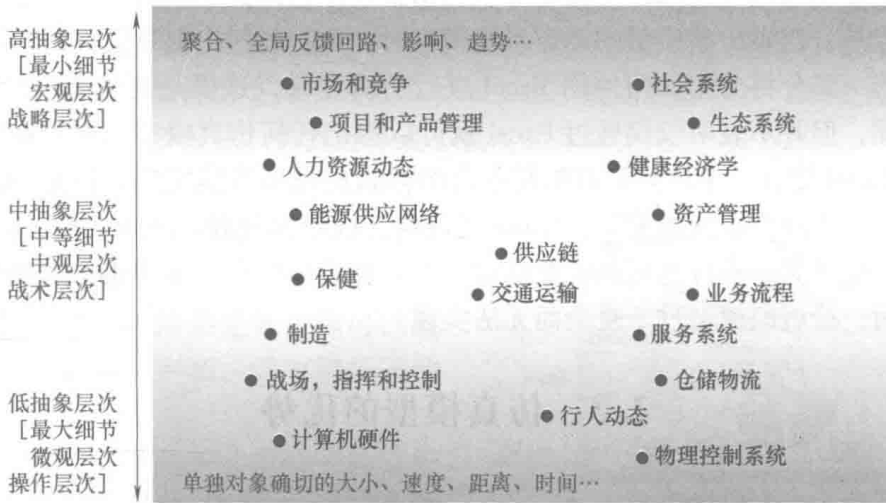


图 1-3 仿真模型的应用领域

是个体)。这些实体在高层次下相互交互，这可以帮助我们理解各类关系，例如公司在广告上的投入将如何影响销量，而不需要仿真中间环节。

其他的是处于中抽象层次模型，中层模型考虑的环节比上层模型要细，但是比低层模型考虑的要粗略。中层模型需要忽略一些细节性环节，但是又必须考虑某些作业环节。例如模拟一个急诊室，假设医院不能出现长时间排队的情况，医院管理人员关心患者从急诊室到 X 光室需要花费多长时间，避免出现患者长时间等待，这是一个中层模型，在这种情况下仿真模型可以不用考虑患者的病情这一细节。再例如，在商业企业或者一个呼叫中心的模型中，如果需要研究人员安排和服务水平问题，则在模型中需要模拟作业流程的操作顺序和作业时间，而不必考虑人员和设备的位置。在一个运输模型中，如果是中层模型，需要考虑载货汽车的行驶速度，但是在一个高层次的供应链模型中，则只需要将上述环节设为需要若干天延迟的一个到达过程。

选择正确的抽象层次对于模型建立是否成功至关重要，一旦决定了在抽象层次下模型中包含什么和保留什么时，选择抽象层次就变得容易。

在模型的开发过程中，偶尔反复考虑模型的抽象层次是很正常的，甚至是件好事情。在大多数案例中，总是从高抽象层次开始，并随着建模的需要逐渐加入细节。

1.5 仿真建模的三种方法

通常将现代仿真建模分为三种模型：离散事件模型，基于 Agent 模型和系统动力学模型。在仿真模型中，采用的建模方法映射了真实世界系统的模型框架，可以把建模方法视

作建模的一种语言或一种术语，三种模型对应三种方法：

1. 离散事件系统建模

离散事件系统 (Discrete Event System) 是指随着时间的变化推进，系统状态的变量是在离散的时间点上瞬时改变^[4]。例如对于一个库存系统，初始库存量为 1000 件，第一天出库了 200 件，第一天的库存量就变为了 800 件，第五天又有 300 件出库，则第五天的库存量为 500 件。如果以库存量作为变量进行观测，则在第一天、第五天这两个时间点上会有变化，这种变化是非连续的、是离散的，这类系统的建模都属于离散系统建模问题。一般而言，离散事件系统建模的理论基础是排队论。

2. 基于 Agent 建模

通过对复杂系统中的各个实体 (Agent) 的属性、行为及其交互关系的刻画，自下而上地描述复杂系统的建模方法。

3. 系统动力学建模

系统动力学 (System Dynamic) 建模是以偏微分方程为理论基础的一种连续系统仿真建模方法，连续系统是指系统状态变量随事件连续变化。例如有一个大的储油罐，如果以存储油的液面高度作为变量进行观察，那么油的液面高度变化是连续进行的，中间不会出现跳变，这类系统都属于连续系统。系统动力学是连续系统建模的有力工具，其创始人为美国麻省理工学院 (MIT) 的福瑞斯特 (J. W. Forrester) 教授，1961 年，福瑞斯特发表的《工业动力学》(Industrial Dynamics)^[5] 成为管理学经典著作。目前，系统动力学应用范围非常广泛，几乎遍及各个领域^[6,7]。

上面每一种方法都适用于其特定的抽象层次范围。如图 1-4 所示，系统动力学建模适

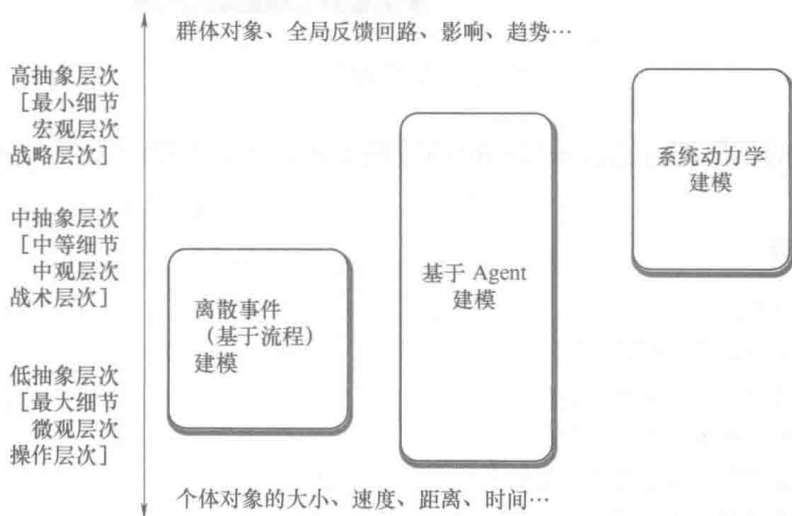


图 1-4 仿真建模的层次结构



合高层次抽象层次，通常用于战略建模；离散事件建模支持中等、中低等抽象层次；介于两者之间的基于 Agent 建模，既可以实现较低抽象层次的物理对象细节建模，也可以实现公司和政府等较高抽象层次的建模。

仿真建模方法的选择要根据研究的系统对象和建模目标来决定，如在图 1-5 所示的超市模型中，不同的建模目标将在很大程度上决定建模的方法：既可以将顾客视为实体，将超市收银员视为资源，利用流程图构建离散事件模型，也可以将顾客视为受广告、社交作用影响的 Agent，建立基于 Agent 模型，或是将销售视为受广告、服务质量、价格和顾客忠诚度影响的反馈变量，建立一个系统动力学模型。

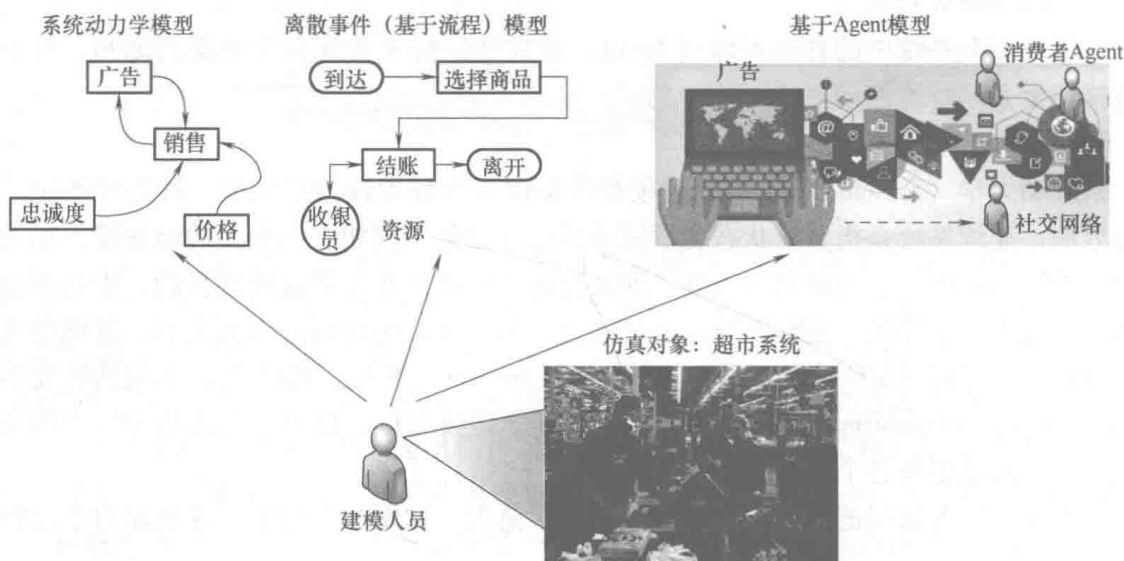


图 1-5 超市系统模型

有时，系统的不同部分适合采用不同的建模方法，多种方法可以混合建模，以满足人们的需求。

本章习题

1. 什么是仿真？
2. 仿真建模适用于哪些问题？
3. 仿真建模的基本原理是什么？
4. 仿真过程的主要步骤是什么？
5. 仿真模型与解析模型的区别是什么？
6. 仿真模型的优点是什么？
7. 仿真建模的方法有哪些？



参考文献

- [1] 贝塔朗菲. 一般系统论基础 发展和应用 [M]. 林康义, 魏宏森, 等译. 北京: 清华大学出版社, 1987.
- [2] 魏宏森, 曾国屏. 系统论——系统科学哲学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [3] 切克兰德. 系统论的思想与实践 [M]. 左晓斯, 史然, 译. 北京: 华夏出版社, 1990.
- [4] 冯允成, 邹志红, 周泓. 离散系统仿真 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [5] FORRESTER J W. Industrial Dynamics [M]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press, 1961.
- [6] SENGE P M. The Fifth Discipline: The Art & Practice of The Learning Organization [M]. New York: Doubleday (Revised & Updated edition), 2006.
- [7] MEADOWS D H. Thinking in Systems: A Primer [M]. Washington: Chelsea Green Publishing, 2008.