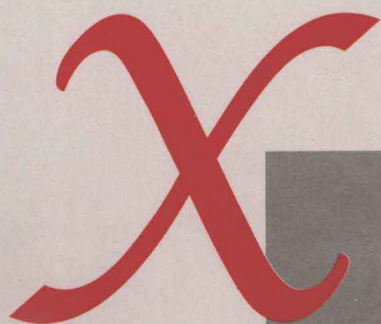


现代 城市物流问题 仿真研究

陈刚 编著



xiandai
Chengshi Wuliu Wenti
Yanjiu

中山大学出版社

现代城市物流 问题仿真研究

陈刚 编著



中山大学出版社

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

现代城市物流问题仿真研究/陈刚编著. —广州: 中山大学出版社,
2010. 10

ISBN 978 - 7 - 306 - 03758 - 9

I. 现… II. 陈… III. 城市—物流—研究—中国 IV. F259. 22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 180708 号

出 版 人: 祁 军

策划编辑: 李海东

责任编辑: 李海东

封面设计: 冒 君

责任校对: 李海东

责任技编: 何雅涛

出版发行: 中山大学出版社

电 话: 编辑部 020 - 84111996, 84111997, 84113349, 84110779

发行部 020 - 84111998, 84111981, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传 真: 020 - 84036565

网 址: <http://www.zsup.com.cn> E-mail: zdcbs@mail.sysu.edu.cn

印 刷 者: 广州中大印刷有限公司

规 格: 787 mm × 960 mm 1/16 12.75 印张 230 千字

版次印次: 2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 2000 册 定 价: 28.00 元

如发现本书因印装质量影响阅读, 请与出版社发行部联系调换

前 言

一、现代城市物流问题是物流工程与管理研究的重要议题

如何提高和改善现代城市物流的管理绩效和运作效率,是物流工程与管理领域的重要问题。本书从微观运营的角度,就现代中国城市物流中的突出问题进行了系统的研究和分析,所探讨的现实物流问题包括城市快速公交系统(BRT)物流调度管理、城市道路控制系统管理、城市轨道交通系统管理、城市仓储系统管理等。

城市发展离不开交通,而城市交通管理的关键就是各种物流运输关键点的管理。为此,本书选取各种城市物流系统的关键节点进行研究。

例如,要改善城市快速公交系统的效率,BRT 站台的管理就是其中的关键。它既涉及在站台系统公交车行进路线和停靠位置的动态调度(第二章第一节),也涉及乘客进出站台和登乘公交车的系统管理(第二章第二节)。相关站台系统的管理模式直接影响和决定着站台系统车流和客流的有序、有效流动。

对于通行于城市大街小巷的普通乘用车辆而言,它们每天都必须依循交通灯的调度和管理。一个城市的交通通行状况,很多时候取决于交通灯控制系统的合理设定和及时调整。但在现实当中,很多城市交通管理当局并没有一套相应的完善完整的调控体系,这使得交通堵塞情况变得日益普遍和严重。各类型的交通灯就成为了整个城市道路系统的关键节点。本书选取了典型节点的交通灯控制系统,包括交叉路口(第三章第一节)和单通道多阶段道路(第三章第二节),进行分析与研究。研究成果对各类型的交通灯控制系统的设置都有较大的参考价值。

现代城市物流的另一个重要组成就是城市轨道交通系统,地铁就是轨道交通系统的典型代表。中国的众多城市都在近年来进入地铁建设的高速发展阶段。然而,不少地方政府当局热衷于筹建和拓展地铁交通网络,却常常忽



视如何很好地运营已经建设好的地铁设施。为系统地评估和衡量现有的地铁站台节点的运营绩效,本书分析了地铁换乘系统(第四章第一节)和地铁售票检票系统(第四章第二节),并依据分析结果提出了若干管理原则与方法。

除了车辆通行系统调度外,城市货运物流的关键节点还在于城域范围内的仓储存取系统的管理。本书选取了两个不同行业的典型仓储系统进行研究,包括药品仓储的关键存取流程优化(第五章第一节)和汽车零部件的捆包运作管理(第五章第二节)。前一个实例面向零售配送,后一个实例需要满足生产配送。相关研究分析对广泛的不同类型的仓储系统管理都有相当的参考价值。

二、计算机仿真是分析现代城市物流问题的重要研究方法

以上这些现代城市物流问题,涉及多种不可控的随机和不确定性因素,如车辆的随机到达、客流量的不可控、运输和控制的各种随机和紧急事件的发生等。采用数学工具建模和求解这些问题通常都是相当困难的;传统的数学建模亦难以用简单直观的模式表达复杂的城市物流系统;同时,所建立的数学模型要在一个相对短的时间内获取有现实意义的较优方案,对计算机的处理能力和算法有很高的要求。

本书采用计算机仿真的研究方法,选取有代表性的现实案例,根据实地调研数据和企业的真实运作流程,对突出的城市物流问题进行建模和分析,并将各种现实存在的不确定因素纳入研究范围。本研究结果丰富了物流管理仿真研究,对运营公共交通和相关业务的企业和政府部门亦有重要的现实参考价值。

在仿真分析的过程中,研究课题组坚持以严谨的态度展开研究,力求真实地模拟和反映现实系统的运作状况。研究进程参照下面的研究框架,依据不同的现实问题设计合适的研究步骤和控制点。首先,研究人员力求详细地描述研究对象和研究议题,这个过程通常采用对研究对象进行实地调研和现场采访的方式进行。其次,依据可能存在的研究方向和议题,研究人员会描述和确定相关物流系统的运作流程和运营特点,并查阅相关文献和访谈相关管理人员,提出若干改善思路 and 仿真目标。再次,研究人员进行系统描述和构建整体模型,依据实地调研数据特征,进行仿真详细建模,构建各种系统模块和设定各种仿真参数。在初步运行仿真模型,并检验和确认模型的有效性后,研究人员就会设计若干仿真实验,以检验各种可能的改善方案。为了

很好地展示分析和研究的结果，还可以构建仿真动画来直观地反映运行中和运行后的关键绩效变化。最后，研究人员依据仿真分析结果，提炼若干管理建议和方案。

然而，仿真的进程不是一成不变的。不同的物流管理系统有不同的特点和研究议题，依据不同的研究目标，研究人员会把研究重点和研究资源放在不同的研究阶段，如数据收集、细节建模、模型确认、方案设计等。简而言之，研究人员尽可能在有限的研究资源条件下，专注于最重要、最有现实意义的研究议题，并相应设计直接有效的研究方案展开分析与研究。

三、本书的研究特色

综观现有的物流领域学术成果，尚未有学术著作系统地分析和研究当代中国城市物流问题；通过实地调研获取第一手资料，采用真实案例研讨现实物流问题的学术文献亦很少见。希望本书的出版有助于推动城市物流问题研究的探讨，研究内容与结果对政府和相关企业的管理与运营也有借鉴与启示作用。

现有的计算机仿真研究著作多偏向于介绍仿真的基本原理、计算机仿真的基本技术与技巧，欠缺实例分析，尤其是物流问题的建模与仿真。本书将进一步丰富计算机仿真研究，对工程类和物流领域的仿真教学与研究有很好的参考价值。

同时，本书的相关研究与分析亦从一个侧面体现了岭南（大学）学院实验教学与研究的相关成果。

四、致 谢

特别感谢中山大学岭南（大学）学院物流管理专业的同学们和物流工程专业的研究生，感谢他们对物流仿真研究的热忱和大量辛勤的工作。同学们在数据收集、仿真建模、报告撰写等方面都做了大量的工作，这些同学包括：黄翔、严德兢（第二章第一节），汤易水（第二章第二节），陈奇锐、林涛、李雨芹（第三章第一节），郭明亮、廖豪杰（第三章第二节），蓝文康、邓小辉、周贤飞（第四章第一节），邓文礼、朱超（第四章第二节），徐亮、苏明达（第五章第一节），黄志萍（第五章第二节），等等。

本书编著获教育部人文社会科学研究一般项目（项目编号：09YJC630236）、广东省自然科学基金（项目编号：9451027501002448）、广



东高校优秀青年创新人才培育项目（项目编号：wym09014）、中山大学青年教师培育项目（项目编号：09wkpy32），以及中山大学岭南（大学）学院、香港中文大学利丰研究院的资助。

本书的研究对象是现实运营的各种庞大的城市物流系统，尽管调研小组花费了大量时间进行实地调研，但由于资源有限，研究小组在不影响研究目标实现的基础上，对研究对象作了一定程度的简化。另外，由于在现有文献中并没有太多相关的研究成果可以借鉴，在数据调研、仿真建模等很多方面，研究小组都只能“摸着石头过河”，所进行的分析和研究肯定还有不少需要改进和完善的地方。恳请各位同行批评指正。

陈 刚

2010 年 7 月于康乐园

目 录

第一章 仿真技术基础	1
第一节 仿真建模基础.....	1
一、仿真与计算机仿真.....	1
二、典型的仿真应用.....	2
第二节 计算机仿真工具介绍.....	6
一、计算机仿真工具概述.....	6
二、Arena 常用模块介绍	6
第二章 BRT 物流调度管理问题	15
第一节 BRT 站台系统车辆调度仿真研究	15
一、研究背景	15
二、运营特点	16
三、仿真分析	18
四、政策建议与讨论	40
五、技术注解	42
第二节 BRT 站台客流管理仿真	43
一、研究背景	43
二、运营特点	45
三、仿真分析	47
四、有关排队论的讨论	61



第三章 地面道路控制系统设置问题	63
第一节 交叉路口交通信号配时仿真	63
一、研究背景	63
二、运营特点	64
三、研究方法工具——Arena 优化仿真	66
四、配时优化仿真分析	67
五、建议与启示	77
六、结论	78
第二节 单通道多阶段交通灯设置仿真	78
一、研究背景	78
二、运营特点	79
三、仿真分析	80
四、建议与启示	100
第四章 轨道交通系统管理问题	101
第一节 地铁换乘系统管理仿真	101
一、研究背景	101
二、研究思路	103
三、仿真分析	103
四、小结	129
第二节 地铁售票检票系统仿真	129
一、研究背景	129
二、运营特点	131
三、仿真分析	133
四、启示与感悟	160
五、技术注解	161
第五章 仓储系统运营管理问题	162
第一节 仓库货位指派策略仿真研究	162
一、研究背景	162
二、运营特点	164

三、仿真建模.....	168
四、小结.....	174
第二节 仓储捆包运作仿真研究.....	175
一、案例背景.....	175
二、运作特点.....	176
三、仿真分析.....	178
四、讨论.....	191
参考文献	192

第一章 仿真技术基础

计算机仿真是研究复杂系统的有效工具与方法。随着计算机技术的飞速发展,计算机仿真成为研究城市物流问题的重要工具与手段。

本章首先介绍了仿真建模和计算机仿真的一些重要概念和典型应用,并阐述了计算机仿真研究的基本要素、研究步骤和要点,以及仿真研究的局限性。随后,简要概述了近年来计算机仿真工具的基本发展;并以 Arena 计算机仿真软件为例,介绍了计算机仿真的重要概念与术语,包括实体、属性、变量、资源、队列、时间、模板、模块等,还详细描述了 Arena 相关流程模块与面板的基本功能。本章的主要目的是使读者对系统仿真建模和计算机仿真软件有一个基本的认识与了解。

第一节 仿真建模基础

一、仿真与计算机仿真

不同的学者对仿真有不同的定义。通常,仿真(simulation)是指依据真实系统构建模拟模型的过程。仿真过程需要考量所研究的现实系统或抽象框架的典型特征或行为特点。

仿真可以被使用在很多不同的研究背景,包括模拟自然系统或人体系统以了解它们内部的运作机理和方式,也包括模仿各类技术对优化、工程、检验、培训、教育等的影响和作用。同时,仿真也可以用来检查各种方案和应对策略的现实效果和作用。

仿真过程的关键在于仿真需要有获取丰富的真实数据的途径,以反映系统的典型特征和研究对象的行为特点。同时,仿真通常都需要在仿真过程中



作若干的简化和假设，一个好的仿真需要确保这些设定对仿真结果的真实性和有效性不能有太大的影响。

计算机仿真 (computer simulation) 是本书的重要研究工具。它通过计算机系统去模拟真实系统的运行。通过改变各种变量和参数的设定，计算机仿真可以系统而直观地对未来的运作绩效进行分析和探讨。近年来，计算机仿真被用于很多自然系统的模拟，如物理、化学、生物、经济、社会、工程等。也有一些研究使用计算机仿真去分析网络交通运行等。在这些分析和研究当中，当初始的环境参数设定改变时，模型的行为将会在每一次仿真实例进行中随之改变。

传统上，系统建模需要采用数学模型的方式，设定初始参数和初始条件，通过求解模型以预测系统的行为。计算机仿真常常被看作简单模型解决方案无法奏效情况下建模系统的替代。计算机仿真有很多种类，但它们都有一个相同的特征，那就是仿真系统会产生很多有代表性的模型情景来反映现实的可能的系统行为。

二、典型的仿真应用

仿真被广泛地应用于工程领域、计算机领域以及人文社会科学领域。下面是仿真在一些典型领域的应用。

1. 计算机科学

在计算机科学中，仿真有一些不同的含义。阿兰·图灵 (Alan Turing)^① 把仿真定义为当一个机器执行一个状态转变表时所发生的状况，而这个状态转变表通常描述一个离散状态的机器的状态转变、输入和输出。在计算机科学理论界，仿真通常指状态转变与系统之间的关系。

在计算机科学中，用计算机仿真程序来模仿计算机如何使用计算机，是其中一个有趣的例子。在计算机架构领域，一个类型的仿真（被称为模拟器）通常指在一个新设计的计算机或者严格控制的运行环境中执行一段程序。

2. 教育和培训

仿真也经常用于人事和军事部门的培训方面。当受训者在现实世界使用真实系统可能遇到危险时，仿真就变得非常有价值。“在工作中学习”

^① 英国科学家阿兰·图灵是计算机科学的先驱。著名的图灵奖就是美国计算机协会 (ACM) 为纪念这位伟大的科学家而设立的，有计算机诺贝尔奖之称。

(learning on the job) 有时候是不现实的; 在这些情形中, 管理培训者就应该考虑使用仿真的方法进行教育和培训。

3. 医疗

近年来, 医疗仿真的应用在不断增加和深入。仿真被广泛用来进行医疗教育培训, 如抽血、外伤包扎、内窥镜检查等。除此之外, 在早期诊断、新药试验等方面也有不少仿真分析和研究。

4. 文艺表演

文艺表演仿真涉及很多潮流行业, 包括电视、电影、电玩游戏、主题公园等。信息技术的不断发展, 使得仿真工具广泛地应用在现代电影制作中, 如早在 1993 年发行的《侏罗纪公园》和最近的风靡一时的《阿凡达》。

5. 制造业

制造业是仿真应用最活跃的领域之一。仿真工具对于工程师衡量和评估厂房、生产线、货仓、配送中心等资产投资运营绩效有很大的帮助, 还可以用在设计、实施和评估现有的生产制造系统的各种改善方案。在这些仿真分析中, 系统绩效的衡量通常都需要设计合适的键绩效指标, 如高峰期和正常运作周期的生产率、系统周转时间、资源利用率、劳动力利用率、机器利用率、工作队列长度、物料处理延迟、中途库存多少、调度系统和控制系统有效性等。

6. 仿真的力量

仿真研究通过构建仿真模型来模拟现实系统的运行, 通过确定和分析系统关键因素来探讨如何影响和预测未来的系统行为。可以说, 大部分仿真模型都致力于从量化的角度去分析仿真系统。

仿真可以分为静态的 (static) 和动态的 (dynamic)。在静态仿真, 系统不会随着时间的变化而变化。在动态仿真, 系统会随着时间的推进而变化 and 演进。通过模拟这样的系统, 可以逐渐了解系统是如何演进的, 各有哪些可能的方式和途径, 从而也可以预测系统未来的行为方式, 以及未来应该采用怎么样的方式去影响系统的推进。

在很多仿真系统中, 控制参数、流程和事件是不确定的和随机的, 后者以现有的知识水平而言, 是难以认知和理解的。在确定性 (deterministic) 仿真中, 这些参数通常使用一个数值来表示, 有很多情形是用最好的数值或者最差的数值来表示。概率 (probabilistic) 仿真则是通过为输入数据指定概率分布来模拟系统的过程。当然, 如果描述系统的输入是随机的和不确定的, 未来系统的绩效自然也是不确定的。也就是说, 基于概率分布的输入而



获得的仿真绩效和结果,就其数值本身而言,也是一个随机概率分布。

仿真是一个强大的工具,它可以为设计、实施、改善可行方案提供决策支持,而不需要把这些方案放到现实系统中真实地运行。通常而言,如果真的在现实中去检验各种方案,这个过程的成本是很高的,同时也可能需要耗费大量的时间和财力。仿真分析可以很容易地回答关于系统运作的各种各样“如果……,将会……”(what if)的问题。这也正是仿真的力量所在。

7. 仿真建模的基本要素与步骤

仿真建模的第一个重要决定就是,需要多真切地模拟现实系统,也就是需要模拟哪些系统模块(module)和事件(event)。同时,对于一个仿真应用来说,还需要确定系统的控制因素(control element)并将它们纳入仿真系统中。事件的确定和控制因素的确定是不能独立分离的,它们都是一个仿真应用的重要组成。

一个真实的系统由若干模块组成。事件就是在仿真运行过程中某个时刻所发生的事情,它可以从模块的分解运行中分离出来。然而,事件并不是完全由模块所决定的。例如,在很多情景中,事件的数目很可能取决于上游模块的建模和仿真运作。

通常,每个模块都有至少一个进入事件(entry event)和一个离开事件(exit event)。多个进入事件和离开事件是可能出现的。每个事件通常都有若干属性,包括事件数量、事件类型、受其影响的模块、后续事件、相关的排队队列等。这些属性在仿真开始运行时将被赋值。相对应地,仿真程序可以设定若干变量(variable),这些变量可以随着仿真的运行而改变赋值。

事件可以简单地分成两类。一类是系统事件,用于处理系统状态的变化,如每天公交系统的运行起始。另一类就是日常事件,该类事件发生在当一个实体通过一个事件点(event point)的时候。通常,这些事件点会被系统记录在事件列表(event list)当中。仿真程序的进行就是依从事件列表的前后逐个事件点推进的。只要清楚了事件列表,仿真可以采用人工的方式推断。当然,人工仿真是非常耗时费力的。

要采用仿真工具分析现实问题,研究者可以参考下面的仿真建模研究步骤:

(1) 确定仿真目标。这个仿真目标不是一成不变的,该目标可以依据对现实系统认识的逐步加深而逐渐调整。

(2) 构建研究小组。该研究小组需要拥有多方面的专业知识,包括对研究对象的认识、系统分析技巧、建模技巧、数据收集技巧、统计分析技

术、管理学知识等。

(3) 选择合适的仿真工具。各种建模工具和仿真工具都有各自的特点,需依据研究对象的特点和研究议题的要求灵活选用。

(4) 在合适的细节层次上建立模型。在此阶段,研究小组需确定问题的规模和范围,确定环境变量。常用的一种策略是:在需要探讨的领域进行细致的建模,而适当地简略无关的系统构成。

(5) 收集必要的数据库。太多数据或者太少数据都不利于研究小组专注于研究议题。

(6) 进行必要的文档记录。大部分程序编写者都厌恶对所编写的程序进行文档的说明,然而,该过程是非常必要和重要的。

(7) 进行模型检验与确认。研究小组需要经常问自己“是否获得了正确的答案”以及“是否做了正确的事情”。如果一个仿真模型不能模拟现实系统,那么这个仿真研究是失真的。为此,研究小组经常需要逐步追溯仿真进行过程,以确保仿真程序正确地模拟了现实系统。

(8) 进行输出分析。通过输出分析,研究小组要清楚知道仿真是否需要运行更长的时间,或者更多的次数,以及相关的统计分析是否足够。

(9) 进行试验方案设计、分析与检验。依据不同的研究目标,研究小组会提出若干备选方案。这些方案的提出通常基于已有的仿真分析结果,通过关键绩效指标的运行绩效,找到问题所在,提出有针对性的解决方案。当然,研究小组也可以只筛选管理层已经提出的若干方案。

(10) 存储工作文档和撰写研究报告。在本阶段需注意工作文档和研究报告的不同阅读对象。

8. 仿真分析的局限性

计算机仿真在研究不确定性问题方面有着突出的特点,然而该研究方法也有一定的局限性,需要在选取分析工具、进行仿真分析时加以注意:

(1) 计算机仿真通常用于评估和评价若干决策方案,仿真本身不能产生解决方案。因此,仿真分析一般要结合其他分析工具和手段,特别是管理模式和管理方法的分析,提出若干解决方案或改善措施,然后运用仿真技术加以分析和评价。

(2) 采用计算机仿真较难进行深入和大规模的优化分析。计算机仿真一般基于特定的系统条件和参数进行仿真分析,其本身是不具备优化分析技术的。近年来,已有一些商用计算机仿真软件开始提供一些基本的优化分析工具,然而,这些模块的使用范围和计算能力还有待进一步的发展。



第二节 计算机仿真工具介绍

一、计算机仿真工具概述

随着计算机运算能力和速度的不断提高,在近二三十年来,计算机仿真应用获得了飞速发展。计算机图形技术、显示技术、并行处理技术等方面的发展,使计算机仿真的适用范围不断扩大,应用分析不断深入,分析研究的真切程度和说服力,以及处理复杂系统的能力也不断提升。

早期,人们开发了 GPSS、GASP、SLAM 等仿真语言来进行仿真分析。使用这些底层专用仿真语言,要求研究者有很好的专业背景并经过特定的学习和培训,对使用者的专业背景要求较高。到了近年,随着计算机技术的发展,应用于仿真领域的仿真软件不断涌现,很多仿真软件提供了很好的可视化人机界面,仿真工具的易用性得到了很大的提高。在这些仿真工具中,Arena 和 Flexsim 适用范围较广,亦被广泛应用于物流系统研究当中。

Flexsim 软件可提供在一个高度可视化的界面中进行流程仿真建模,并具有多种统计分析工具来反映模拟系统的绩效。一个流程,无论是加工流程,还是供应链管理流程,只要能采用流程图或其他流程表达式进行描述,就可以使用 Flexsim 进行仿真建模。此外,Flexsim 还支持在三维(3D)环境中通过拖拉对象等方式进行建模和仿真,三维显示效果较好。

Arena 是美国 Rockwell 公司开发的通用仿真软件。它是在早期的 SIMAN 仿真语言基础上发展而来,具有 SIMAN 仿真功能强大的特点。同时,Arena 也有很好的人机界面和动画仿真展示效果,并具有输入分析、过程分析、输出分析等各种仿真分析工具,仿真分析功能强大。Arena 在各行业中有不少的实践应用案例,而在学术研究中也被广泛应用。

限于篇幅,在这里不对计算机仿真软件作一一的介绍。可以说,这些计算机仿真工具各有特点,研究人员可依据各自的研究对象和研究议题灵活选用。

二、Arena 常用模块介绍

本书采用 Arena 计算机仿真工具分析现代城市物流问题。下面就 Arena

建模的基本概念和常用模块（如基本流程面板、进阶流程面板）进行简单的介绍。

1. 基本术语

(1) 实体 (entity): 仿真模型中的动态对象, 通常需要被创建、移动、处理 (改变状态) 和释放等。在研究地铁系统的服务水平中, 乘客就是其中的实体。乘客会随机地出现在地铁系统中要求服务, 在获取运送服务后, 乘客会离开这个系统。

(2) 属性 (attribute): 一个实体区别于其他实体的特征。例如乘客的年龄、步行的速度等。

(3) 变量 (variable): 系统的某些变动因素, 包括系统变量和用户自定义变量。在 Arena 中, 大多数变量是公共的, 任何实体都可以访问。

(4) 资源 (resource): 用于对实体进行处理, 如人员、机器设备等。资源一般要被获取, 然后可以占用一段时间用以处理指定工作。在完成工作后, 资源就会按指定设定释放以处理其他工作要求。

(5) 队列 (queue): 通常用于缓存实体。当实体的工作要求无法得到即时的响应时, 实体就会进入相关的队列进入等待队列; 该等待一直持续到该实体获得了资源进行工作处理, 或者有其他模块将该实体移出队列。

(6) 事件 (event): 代表系统的某些特定时刻。在事件发生时, 系统状态通常发生改变。典型的仿真事件包括仿真开始、仿真结束、实体到达、实体处理完毕、进行决策判断等。

(7) 模板 (panel): 模块的集合。Arena 提供了很多应用模板, 用户可以依据研究的要求而选用。

(8) 模块 (module): 封装好的仿真逻辑, 通常用来定义仿真流程和数据。

2. 基本流程面板

基本流程面板 (basic process panel) 提供了使用 Arena 软件进行仿真分析最基本的流程建模工具。使用该模板的各种流程模块, 研究者可以很方便地把商业流程、工作流程、决策流程等表述出来。仿真流程描述是计算机仿真必不可少的重要环节。下面, 我们简单介绍一下 Arena 软件 (第 11 版) 的基本流程面板的主要流程模块。

(1) Create 模块 (图 1.1)。Create 模块在仿真模型中通常用于构建实体进入系统的进入点。实体的创建可以基于一个调度 (schedule), 也可以基于一个指定的相隔时间。在实体被创建后, 实体将离开 Create 模块进入仿