



上海市重点图书
交通运输规划与管理研究系列

仿真技术

在物流管理中的应用

FANGZHEN JISHU ZAI WULIU GUANLI
ZHONG DE YINGYONG

赵刚 黄小青 李纬韬 张贺 著



上海市重点图书

交通运输规划与管理研究系列

仿真技术在物流管理中的应用

赵 刚 黄小青 李纬韬 张 贺 著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

全书共 8 章,内容包括:系统仿真的概念;系统仿真的过程;仿真技术在库存控制中的应用;仿真技术在仓库规模确定中的应用;仿真技术在配送中心内部规划中的应用;仿真技术在储位管理中的应用;仿真技术在物流网点选址中的应用;仿真技术在企业物流系统规划中的应用。本书内容新颖、语言简练,可作为大学物流专业高年级学生或研究生相关课程的参考书籍或课外读物。

图书在版编目(C I P)数据

仿真技术在物流管理中的应用 / 赵刚等著. —上海:
上海交通大学出版社, 2007

(交通运输规划与管理研究系列)

ISBN 978 - 7 - 313 - 04711 - 3

I. 仿… II. 赵… III. 系统仿真—应用—物流—物资管
理 IV. F252-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 021102 号

仿真技术在物流管理中的应用

赵刚 黄小青 李伟韬 张贺 著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市华通印刷有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:10 字数:185 千字

2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

ISBN978-7-313-04711-3/F·670 定价:40.00 元

版权所有 侵权必究

序

为实现由教学型大学向教学研究型大学转变的目标,上海海事大学一直将学科建设作为学校工作的重中之重,从体制、机制和投入三方面予以支持,以便更好地为国家交通事业的发展和上海国际航运中心建设服务。

交通运输规划与管理学科作为交通部重点学科和学校的传统优势学科,目前设有1个博士点(交通运输规划与管理),3个硕士点(交通运输规划与管理、交通运输工程、港口海岸及近海工程),2个中外合作研究生培养项目(国际航运与物流工程、物流工程与管理)。

长期以来,交通运输规划与管理学科坚持以水路运输为特色,围绕交通运输战略与规划、交通运输现代化管理、海事信息与控制领域中的重大理论、技术和管理问题,注重学科建设和科学研究,取得了一定的学术成果。据统计,2002年以来,该学科共承担了包括国家863计划、国家自然科学基金等在内的各类科研课题100余项,科研经费达1000多万元,并获得省部级科研成果奖8项次,发表学术专著17部,在国内外重要学术刊物发表论文近两百篇。

《交通运输规划与管理研究系列》丛书收录的学术专著均源自交通运输规划与管理学科的教师近年来所完成的科研成果,从整体上代表了该学科的学术水平。这些专著作者,既有在学术上已卓有成就的资深学科带头人,也有正在快速成长的中青年学科带头人和学术带头人,其中还不乏初出茅庐的青年才俊,这充分显示了交通运输规划与管理学科雄厚的学科人才梯队。更值得一提的是:此次出版的丛书涉及了交通运输领域的方方面面,既有基础理论领域的探索,也有技术层面的应用创新,这表明了交通运输规划与管理学科的发展正逐渐呈现出多学科交叉的特色和优势。

《交通运输规划与管理研究系列》丛书的顺利出版,标志着交通运输规划与管理学科建设又达到了一个新的高度。在此衷心希望交通运输规划与管理学科团队继续振奋精神,努力创新开拓,坚持“理论上有一个高度,应用上有一个落脚点”的

发展模式,在理论研究层面能密切跟踪当前国际学术发展前沿动态,并与之相接轨;在应用研究领域,能与海事领域具体应用密切结合,切实解决重大海事管理与规划问题,力争成为国内海事规划与管理领域不可或缺的思想库、专家库、技术库和成果库。

上海海事大学校长

於世成 教授

前 言

随着世界经济一体化和科学技术的飞速发展,物流业作为国民经济中一个新兴的服务部门正在迅速发展。我国已把物流业作为 21 世纪的重要产业。物流已成为经济领域的热点。许多市场意识敏锐的企业也将物流作为提升企业核心竞争力的重要手段,把现代物流理念、先进的物流管理、技术和现代经营模式引入企业。

2001 年 3 月 1 日,国家经贸委等 6 个部委联合印发了《关于加快我国现代物流发展的若干意见》。2004 年 8 月 5 日,国家发改委等 9 个部委又联合印发了《关于促进我国现代物流业发展的意见》。两个文件对全国各地发展现代物流起到了有力的推动作用。我国入世后,物流领域的开放步伐进一步加大,现代物流产业进入了一个快速成长的阶段。

我国现代物流在功能和发展潜力上的主要问题在于现代物流系统的不完善以及物流运作过程的不合理。现有的物流系统都是在客观需求下自然形成的,且随着需求的变化而自然“生长”或“萎缩”。自然形成的物流系统由于缺乏前瞻性和系统规划,在物流资源的配置、物流网络的结构等方面,很难保证其可靠性、合理性、协调性和最优化。而物流运作过程,主要是运输过程和仓储过程,仍以经验管理为主,基本上没有采用优化的理论和方法,不合理现象随处可见。物流这块“经济上的黑暗大陆”仍然扑朔迷离,难以产生“第三利润”。一般的优化理论和方法难以处理的主要原因是物流系统的复杂性。经验告诉我们,当问题的规模和复杂程度使得最优技术无能为力时,仿真技术就能派上用场。

在国外,仿真技术在物流管理中的应用相当普遍。当高通(Qualcomm)想通过精简手机制造流程、改善库存管理、大幅度降低成本以保持市场竞争力的时候,它求助的方法就是仿真技术;当 UPS(United Parcel Service)想在满足客户服务质量的前提下、在庞大的人员车辆配置和成本之间取得最佳平衡的时候,它求助的方法也是仿真技术;当宝洁(P&G)总部提出要求,要设计一个覆盖北美的高效的供应链网络,不但要满足客户的日常订单处理和配送要求,更要求这个供应链网络具有极强的抗波动性的时候,它所求助的方法还是仿真技术。仿真技术在复杂系统

的分析和决策中的巨大价值在欧美已成为不争的事实,每年创造着数以千亿美元的经济效益。

因此,有必要对仿真技术在物流管理中的应用进行研究和实践,提高物流管理的水平。这就是撰写本书的意义之所在。

本书没有像大部分仿真方面的书一样对仿真软件进行介绍。事实上,我们只是采用了最普通的 Visual Basic 语言结合 Excel 软件进行仿真系统开发。应该承认,优秀的仿真软件可以达到事半功倍的效果。但我们更关注于仿真的通用知识、建模思路、数据收集和处理方法、解决问题的流程和如何去组织具体的仿真项目。我们相信,如果你学会了建模方法,学会了如何系统地思考,学会了将现实的实体进行合理的抽象,无论你在哪里,无论采用何种仿真软件,你都会很快地进入角色,很快地解决问题。仿真能力的高低不在于对软件的熟练程度,而在于系统建模能力,解决问题拿出结果的能力。再说,Visual Basic 语言结合 Excel 软件也确实能解决大部分的物流管理仿真应用问题。

仿真技术及其应用的研究在国内外已经取得了相当丰富的成果。物流管理的应用领域也远不止本书介绍的几个方面。但仿真技术在我国物流管理中的应用现状确实并不理想。本书作者希望通过我们的抛砖引玉,能引起大家对仿真技术的重视,加快仿真技术在我国物流管理中的应用步伐。

赵 刚

2006 年 8 月

目 录

第 1 章 系统仿真的概念	1
1.1 仿真的定义	1
1.2 系统仿真模型	4
1.3 离散型仿真模型	10
1.4 系统仿真应用	12
第 2 章 系统仿真的过程	16
2.1 离散事件系统仿真流程	16
2.2 随机变量的生成说明	20
2.3 仿真时钟推进方法与仿真算法	25
2.4 系统仿真输出结果的分析	29
第 3 章 仿真技术在库存控制中的应用	34
3.1 库存控制的基本概念	34
3.2 利用 EOQ 进行库存控制仿真	41
3.3 非 EOQ 方法进行库存控制仿真	48
3.4 复杂情况下的库存控制仿真	54
第 4 章 仿真技术在仓库规模确定中的应用	57
4.1 有关仓库规模确定的方法	57
4.2 仿真方法及参数设定	62
4.3 系统仿真的实现	66

第 5 章 仿真技术在配送中心内部规划中的应用	70
5.1 配送中心的内部工作区域划分	70
5.2 货物存储区的布局策略	71
5.3 流通加工区的安放位置	74
5.4 进出库汽车泊位数的设计	75
5.5 计算机仿真系统设计	77
第 6 章 仿真技术在储位管理中的应用	83
6.1 现代仓储管理需求的产生	83
6.2 储位管理	85
6.3 现代拣货管理	88
6.4 储位管理仿真	92
第 7 章 仿真技术在物流网点选址中的应用	96
7.1 物流网点选址问题及方法	96
7.2 多源连续型选址仿真	101
7.3 连续型选址模型的推广	108
7.4 离散型选址仿真	109
第 8 章 仿真技术在企业物流系统规划中的应用	112
8.1 企业物流系统规划概述	112
8.2 企业物流系统的建模	115
8.3 仿真模型的算法分析和程序设计	127
8.4 仿真系统应用实例	129
附录	137
参考文献	150

第 1 章 系统仿真的概念

一个系统,譬如一个企业管理系统或物流管理系统,它与外部环境之间或其各环节之间存在着一定数学的或逻辑的关系。我们可以运用定性分析和定量分析的方法,通过一定的数学逻辑模型去描述这些数学的或逻辑的关系,反映系统的本质。

如果管理系统的这些数学逻辑关系较为简单,那么所建立的相应的数学模型可以采用数学解析方法求解。可是,在许多情况下,一个管理系统的这种数学模型十分复杂,以至很难运用数学解析法去寻找答案。这时,我们需要借助仿真技术来解决问题,辅助管理系统的决策。

仿真就是在建立数学逻辑模型的基础上,通过计算机实验,对一个系统按照一定的作业规则由一个状态变换为另一个状态的动态行为进行描述和分析。随着现代数学方法、计算机技术以及仿真实理论与方法的迅速发展,仿真在经济管理系统中获得日益广泛的应用,它是电子计算机在管理中应用的一个十分重要的方面。

1.1 仿真的定义

1.1.1 系统模型与仿真

1.1.1.1 系统模型

系统是相互联系又相互作用对象的有机组合。系统模型是反映系统内部要素的关系,反映系统某些方面本质特征,以及内部要素与外界环境关系的系统的抽象,是对一个现实存在的系统或计划建立的系统的某种形式的表述。建立和运用系统模型的目的在于指明系统的主要组成部分以及它们之间的主要关系,以便于人们对系统进行深入的研究。

系统模型有着多种多样的形式,其中主要包括:

(1) 描述性模型:运用文字形式简明阐述系统的构成、边界和主要功能,系统分析与设计的目的和任务,等等。

(2) 物理模型: 如一个待开发或研制的产品的模型或样机, 一个供作分析研究用的工厂、车间、仓库、生产线或其他管理系统的平面布置或空间布局的模型, 等等。

(3) 数学逻辑模型: 它们是系统的各种变量的数学逻辑关系的抽象表述, 主要为各种形式的数学关系式。

(4) 流程图和图解式模型: 运用表格或图解的形式比较直观、明确地说明系统的组成部分以及它们相互之间的基本逻辑关系。

(5) 计算机仿真模型: 在上述模型的基础上, 运用通用的计算机程序语言或者已开发的多种类型的专用仿真程序语言编写的计算机程序, 作为计算机仿真运行的主要工具。

建立系统模型, 在模型上对系统进行试验研究的方法称为系统仿真方法。换句话说, 系统仿真就是在建立数学逻辑模型的基础上, 通过计算机实验, 对一个系统按照一定的作业规则由一个状态变换为另一个状态的动态行为进行描述和分析。系统仿真的理论基础是系统理论、控制理论、相似理论、数理统计理论、信息处理技术、计算机技术等。

在管理系统仿真中, 我们首先要建立与分析仿真模型, 它通常包含上述的第(1)~(5)项。

1.1.1.2 仿真的实质

(1) 仿真是一种数值技术。它是在采用解析方法无法或很难求解时, 用来对既定的模型求解。

(2) 仿真是一种“人造”的试验手段, 通过这种仿真试验我们能够对所研究的系统进行类似于物理、化学等类实验的实验。它和现实系统的试验的主要差别在于仿真试验依据的不是现实系统本身及其所存在的实际环境, 而是作为现实系统的映象的系统模型以及相应的“人工”环境。显然, 仿真结果的正确程度完全取决于输入数据和仿真模型是否客观地、正确地反映现实系统。

(3) 由于电子计算机可以加速仿真过程和减小仿真误差, 所以电子计算机仿真在整个系统仿真技术中占据着日益重要的地位。

(4) 尽管在系统仿真中, 我们要研究某些特殊的时间点的系统状态, 但是一般来说, 仿真是对系统状态在时间系列中的动态写照。

(5) 大多数的管理系统仿真属于随机性系统仿真。但是, 这并不排斥某些情况, 为简化起见, 我们采用确定性系统仿真来处理问题。

1.1.1.3 仿真的作用

总的说来,管理系统仿真扮演着管理试验手段的角色。仿真模型已经在描述、设计和分析系统中充分显示了它的作用,具体地说有以下几个方面:

(1) 作为解释手段去说明一个系统或问题。对于现有的实际运行的系统,如果为了深入了解它以及改进它,而在实际的系统中进行实验,则往往花费大量的人力、物力、财力和时间,有时甚至是不可能的,而通过计算机仿真,可以使现有系统不受干扰,经过分析仿真结果,对现有系统作出正确评价,并可预测其未来的发展趋势,提出改进方案。

(2) 作为设计准绳去综合分析和评价所建议的决策措施。对于所设计的新系统,在未能确定其优劣的情况下,先不必花费大量的投资去建立它,而是采用计算机仿真,对新系统的可行性和经济效益作出正确的评价。

(3) 作为决策支持系统辅助决策。在管理决策中,针对具有不同的决策变量或参数组合的不同决策方案,进行计算机仿真的多次运行,按照既定的目标函数,对不同的决策方案进行分析比较,从中选择最优方案,从而辅助管理决策。

(4) 作为预测方法去预报和辅助计划系统的未来发展。

(5) 作为分析工具去确定系统的关键组成部分或项目。

1.1.2 仿真与解析方法的比较

在系统模型不太复杂的情况下,往往可能运用数学方法,如线性代数、微积分、数学规划等求解问题。但是,大多数的实际系统是如此复杂以至它的模型不可能采用上述解析方法求得解决。这时,仿真就能发挥它应有的作用。在这种情况下,系统设计与分析人员运用计算机仿真,求解系统模型,并收集相应的资料以估计所研究的系统的各项特征。

与数学解析方法相比,仿真有着以下的优点:

(1) 大多数具有随机因素的复杂系统无法用准确的数学模型表述从而采用解析方法评价,于是仿真通常就成为解决这类问题的好方法。

(2) 仿真可以使人们能对现有系统在重新设计的工作条件下的工作成果作出分析判断。

(3) 它能帮助人们选择最优的系统设计方案。

(4) 借助仿真我们可以在一个比较长的时间里研究一个系统的变化规律。

与此同时,仿真也存在着如下的缺点:

(1) 计算机仿真往往耗费大量的时间和费用。这是由仿真系统开发的复杂性及仿真所需的计算机存储量大和计算时间长所造成的。

(2) 每次仿真运行仅能提供与一定系统的具体条件相对应的特殊解,而不是通用解。这样一来,为了获得最优解,要大量地进行在不同条件下的仿真运行,从中获得一组由离散点组成的解集合,通过比较这些离散解,仅能获得接近于最优解的较优解。而正确的数学解析模型却可以运用数学最优化方法求得最优解。

(3) 模型的参数难以初始化。也即难以确定合适的系统仿真初始条件。为此,它往往需要在收集与分析资料方面花费大量的时间和精力。

(4) 仿真的精度受到许多方面因素的影响,较难控制和测定。但进行模型对参数改变的敏感度的分析,可以帮助我们克服这个困难。

1.2 系统仿真模型

1.2.1 系统仿真模型与现实系统

一个系统仿真模型是运用通用的计算机程序语言或者已开发的多种类型的专用仿真程序语言编写的计算机程序,程序的实质是对一个现实系统的数学逻辑关系的描述,亦即一个现实系统的抽象化。

事实上,一个现实的管理系统或实际管理问题通常十分复杂。为了便于解决问题,人们一般应该对实际问题加以简化,甚至在必要时作出某些假设,以便建立合适的模型求解问题,所以说,系统仿真模型是现实系统的近似抽象化。

例如,假若我们要通过计算机仿真分析研究一个仅有一个装卸泊位的散货码头的工作情况,则这个现实系统——散货码头,可以抽象化为一个单人服务排队系统,如图 1-1 所示。

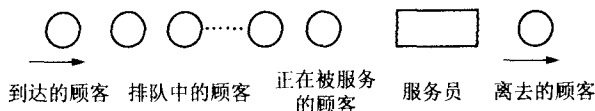


图 1-1 单人服务排队系统

前来装货的船舶,按照一定的统计规律到达码头,若此时泊位繁忙,则船舶进入排队行列等候;当泊位空闲时,则船舶按照先到先服务的规则到泊位装货,装货完成离开泊位,从系统消失。

建立这个系统的仿真模型时,首先要明确系统的边界,即从船舶到达泊位(进入系统)直至服务结束离开泊位(离开系统)。其次要确定作为仿真的对象——系统的实体(船舶和泊位),并以相应的参数或特性来表征系统实体,如表征船舶的特性可能有船舶的船名、船龄、吨位、船型、所属公司、装货量、装货品种、到达速率等。

描述泊位的特性可能有泊位编号、前沿吃水、泊位长度、装货作业线数、装货效率等。第三,要确定系统实体的参数或特性的表达方式、计算方法、变化规律。比如,到港船型的种类及各种船型的比例,到港规律(分布)等。若考察系统的主要目的在于通过分析船舶在系统内的平均停留时间以及平均船舶数,以便采取措施改进码头的服务质量,则可把注意力集中于船舶的到达速率以及泊位的装货效率等特性上面。而船舶在系统内的平均停留时间以及系统内的平均船舶数就成为评价系统工作成果的主要指标。它们可按下列公式计算:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}, \quad (1-1)$$

$$\bar{q} = \frac{\sum_{j=1}^m [q_j (t_j - t_{j-1})]}{T}, \quad (1-2)$$

式中 $\bar{d}$ ——船舶在系统内的平均停留时间;

d_i ——第 i 艘船舶在系统内的停留时间;

n ——完成装卸的船舶艘数;

$\bar{q}$ ——系统内的平均船舶艘数;

q_j ——发生第 j 事件时的系统内的船舶艘数(系统有船舶到达或船舶离开都称为发生一次事件);

t_j ——第 j 事件的发生时间;

T ——整个仿真时间;

m ——在 T 期间内发生的事件数目。

依据上述模型,运用一定的程序语言编出仿真程序,然后进行计算机仿真运行。通过分析仿真的输出结果,对本系统的工作情况作出评价,从而提出改进系统的措施和决策。

在分析排队服务系统时,通常要涉及的因素可能包括以下几个方面:

- (1) 顾客到达的速率或相邻顾客到达的间隔时间,呈确定性或随机性;
- (2) 服务速率或单位顾客的服务时间,呈确定性或随机性;
- (3) 服务者或服务设施的数量及其利用率;
- (4) 顾客排队规则,有先进先出,后进先出以及其他优先规则;
- (5) 排队列数,有单列的和多列的;
- (6) 排队行列容量,分为有限的和无限的。

1.2.2 仿真模型的结构

为了建立一个系统的仿真模型,人们必须了解仿真模型的结构。尽管一个模

型从数学上或物理上来说是异常复杂的,但它的基本结构却相当简单。可用以下的数学形式表示:

$$E=f(x_i, y_j), \quad (1-3)$$

式中 E ——系统的工作成果;

x_i ——可以控制的变量和参量, $i=1, 2, \dots, m$;

y_j ——不可控制的变量和参量, $j=1, 2, \dots, n$;

f ——产生 E 的 x_i 和 y_j 之间的关系。

一般说来,一个模型是由以下几个方面的一种组合构成的:①组成要素;②变量;③参量;④函数关系;⑤约束条件;⑥目标函数。

1.2.2.1 组成要素

组成要素是指所研究的系统的组成部分,亦即系统的要素或子系统。对一个仓库来说,它们可能是仓库内的货架、储位,仓库内的装卸搬运机械、设备,仓库管理及操作人员,仓库内保管的货物,等等。我们把一个系统看成是一组相互独立、相互作用并以某种形式联合起来去实现特定功能的实体的集合。按照这个观点,组成要素是构成系统的实体。

1.2.2.2 参量

参量是指模型运算部分能赋予任意值的一个量度(或系数)。与变量不同,对于一定形式的函数它只能赋予定值,亦即参量一经设定即保持不变。譬如,对于泊松分布函数而言, X 的概率由 $P(X=x)=e^{-\lambda}\lambda^x/x!$ 而定,其中 λ 为分布函数的参量, x 为变量, e 为常量。

1.2.2.3 变量

在仿真模型中,有两类变量:外生变量和内生变量。外生变量又可称为输入变量,它起源于或产生于系统的外部,即由外部原因所引起的。内生变量是在系统内部产生的,即由内部原因所引起。内生变量又进一步划分为状态变量和输出变量,前者表明它们在系统内的状态或条件,后者是指离开系统时的状态。对于一个生产及存储控制系统而言,系统的变量可能有产品需求量,产品及其组成元件的产量,各车间和全厂的工人数量,产品、元件及原材料的库存量,等等。

依照变量的相互依赖关系,变量可以划分为自变量和参变量。在系统仿真中,主要的自变量通常为仿真时间,而参变量则会随着系统环境及仿真目的的不同而各不相同。仿真就是系统状态随时间变化的动态写照。

1.2.2.4 函数关系

函数关系描述一个系统的变量和参量在系统的组成部分或组成部分之间的相互关系。它可能是确定性的或随机性的。确定性函数关系是当输入一经确定,则输出也唯一确定;而随机性函数关系是在既定的输入情况下,仍会出现不确定的输出。这两类函数关系都以输入变量以及状态变量的数学方程的形式出现,它们可以由统计方法和数学分析法进行假设和推断。

1.2.2.5 约束条件

约束条件体现了对变量数值或可供分配或消耗的资源限制。对于一个生产计划系统模型而言,它的约束条件可能有:

- (1) 产品的市场需求量;
- (2) 生产能力的限制,包括人力、设备、厂房面积及空间、运输能力等方面的限制;
- (3) 物质资源(原材料、能源等)尤其是稀缺物资供应量的限制;
- (4) 财务资金方面的限制;
- (5) 其他具体生产技术条件的限制。

1.2.2.6 目标函数

目标函数是评价系统仿真工作成果的准则。随着决策策略以及系统仿真目的的不同,目标函数可以是单目标的或多目标的。通过仿真模型拟定以及仿真试验,能够获得优化系统目标函数的最优解或者接近于最优解的较优解。在设计与分析生产计划决策系统时,目标函数可能为下述项目中的一项或一项以上:

- (1) 较高的服务水平(或供货率);
- (2) 最大利润;
- (3) 最高生产率;
- (4) 最低产品成本或生产费用;
- (5) 最低产品次、废品率;
- (6) 生产均衡率;
- (7) 最少流动资金周转天数;
- (8) 其他。

除了式 1-3 的表示方式外,一个模型还经常用如式 1-4 的形式化描述。

$$M = \{ T, U, X, Y, \Omega, \lambda \}, \quad (1-4)$$

式中 T ——时间基;

- U —— 输入变量;
 X —— 状态变量;
 Y —— 输出变量;
 Ω —— 状态转移函数;
 λ —— 状态空间。

1.2.3 系统仿真的术语

为了拟定系统仿真模型,必须运用许多基本的仿真术语,现分述如下:

- (1) 实体:一个系统边界内部的对象称为实体。
- (2) 参数:参数是指系统的实体的特性。
- (3) 活动:导致系统状态发生改变的任何过程称为活动。产生于系统内部的活动称为内生活动,而发生于环境并对系统产生影响的活动称为外生活动。
- (4) 状态:系统状态就是指在某时间点对系统的所有的实体、参数和活动的描述。
- (5) 环境:存在于系统周围的对象和过程(实体和活动)称为系统的环境。
- (6) 关于系统:①将全部活动分类为内生活动和外生活动就确定了系统的边界。②没有外生活动的系统属于封闭系统。反之,具有外生活动的系统属于开放系统。③一连续性系统的变量可以为预定的区间集中的任意实数值,也即其系统状态呈光滑性变化。一离散性系统的变量只能为有限的特殊值,也即系统的状态呈不连续的变化。④一个系统的响应(输出)完全由它的初始状态和输入所决定则称为确定性系统。一个系统在既定初始状态和输入情况下,其响应(输出)具有随机性质则称为随机性系统。

值得指出的是,确定仿真的实体及其参数值是系统仿真的非常重要的组成部分。表 1-1 列举了一个仓库管理系统的实体及参数值。

表 1-1 仓库管理系统的实体和参数

实 体	参 数
储位	编号,适合货物
装卸搬运机械	编号,型号,能力
管理及操作人员	工号,职务,岗位
保管的货物	编号,类型、数量、入库时间,储存位置,计划出库时间,注意事项

1.2.4 系统仿真的类型

在实践以及文献中,将仿真划分为三种类型:离散型,连续型,离散-连续复合型。离散型系统是指那些系统状态变量随时间呈离散状态的变化;连续型系统是