

Modeling and Simulation of Logistics

# 物流系统 建模与仿真

陈达强 胡 军 编著

F252.0



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

# 物流系统建模与仿真

---

陈达强 胡 军 编著

浙江大學出版社

## 内 容 提 要

本书共分九章,主要内容为系统、模型与仿真概述、物流系统、模型与仿真、物流系统预测模型与仿真、物流节点选址模型与仿真、运输配送系统模型与仿真、库存控制模型与仿真、物流节点设施布局模型与仿真、物流系统决策模型与仿真、物流系统评价模型与仿真。

本书内容翔实,主干内容思路清晰,相关知识介绍全面深入,适合作为物流管理人员、物流科研人员、物流营销人员的参考书,同时可作为高校物流管理、物流工程、电子商务、工商企业管理、国际贸易、信息管理与信息系统、工业工程等专业本科高年级和研究生的教材参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

物流系统建模与仿真 / 陈达强, 胡军编著. — 杭州: 浙江大学出版社, 2008. 12  
ISBN 978-7-308-06306-7

I. 物… II. ①陈…②胡… III. ①物流—系统建模②物流—计算机仿真 IV. F253.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 163879 号

## 物流系统建模与仿真

陈达强 胡 军 编著

---

责任编辑 傅百荣

封面设计 俞亚彤

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>

<http://www.press.zju.edu.cn>)

电话: 0571—88925592, 88273066(传真)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 德清县第二印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 23

字 数 604 千

版 次 2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-06306-7

定 价 45.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88925591

# 前 言

应用系统的理论和方法是研究物流系统、优化物流规划和物流管理的基本手段,物流系统分析、物流系统建模及仿真是其根本基础,但目前国内对于完全从物流系统角度,以优化物流系统为目的,比较全面系统地介绍建模与仿真等相关方法技术的论著并不多。本书是编者在物流工程与管理专业多年教学经验及科研实践的基础上,结合物流学科当前发展的趋势,尝试按照系统、模型及仿真三个层面,静态物流、动态物流两个维度,涉及物流规划与管理中的物流系统预测、设施选址、运输配送、库存控制、设施布局、物流决策、物流系统评价等多个主干体系所编写的。

本书力图比较全面、系统地介绍物流系统、模型与仿真的理论方法。全书共分为九章。第一章简要介绍系统、系统模型、研究内容与方法、系统的特征及分类等关于系统的系统工程基本知识,模型的定义与分类、建模过程、方法、原则及注意事项,仿真的定义、方法与步骤、仿真的发展趋势,并分析了系统、模型与仿真三者的关系。第二章介绍物流系统的理论知识、系统模型的建模方法和过程、物流系统仿真及其主要工具软件。第三章重点介绍物流系统预测原理、步骤与常用预测模型,及物流系统预测的仿真应用。第四章介绍物流节点选址的方法步骤、选址模型及仿真应用。第五章介绍动态物流系统中的运输配送系统模型与仿真,主要内容为物流运输配送中的物资调运、方式选择、车辆配载、区域划分以及路线优化选择等问题的模型及仿真应用。第六章重点介绍静态物流中的库存控制决策模型,具体介绍了库存系统概念、库存控制技术以及控制中的确定型与随机型模型与仿真。第七章主要介绍了物流节点的布局模型与仿真,其中详细介绍了乐龙仿真软件的应用实例。第八章与第九章分别介绍了物流决策、物流系统评价模型。

本书在撰写过程中,参考或直接应用了国内外的相关的论文和著作等文献资料,参阅了许多报刊媒体和专业站点的资料,唯恐遗漏,在此向有关专家人士表示感谢。在编写过程中浙江大学管理学院刘南教授,以及浙江工商大学凌云教授、陈子侠教授、胡华教授,他们对这本书的编辑和写作给予了不遗余力的支持和帮助。

编写本书的目的是希望能在物流教学科研中作一些务实性的工作,学习与思考物流系统研究的理论知识体系和方法论,应该说整个写作过程是对作者而言既是科研和教学的一次巨大升华,更是对知识的再次认识和提升。

由于作者水平有限,成稿时间仓促,书中观点或表述难免出现疏忽和谬误,敬请各位专家、读者提出批评意见,并及时反馈给作者,以便逐步完善(联系邮箱:chendaqiang@mail.zjgsu.edu.cn)

再次感谢所有在本书编写出版过程中给予支持和帮助的朋友们!

**陈达强 胡 军**

2006年7月于浙江工商大学

# 目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 系统概述	2
1.1.1 系统的定义	2
1.1.2 系统模型、研究内容与方法	4
1.1.3 系统的特征与分类	6
1.2 系统模型概述	12
1.2.1 系统模型的定义与分类	12
1.2.2 系统建模过程与方法	15
1.2.3 系统建模原则与注意事项	19
1.3 系统仿真概述	21
1.3.1 仿真的定义	21
1.3.2 系统仿真的一般步骤	24
1.3.3 仿真的发展趋势	26
1.4 系统、模型与仿真	28
1.4.1 系统模型与仿真的作用和发展历程	28
1.4.2 系统、模型与仿真的关系	29
第 2 章 物流系统、模型与仿真	31
2.1 物流系统概述	31
2.1.1 物流系统	31
2.1.2 物流系统工程	38
2.2 物流系统模型	44
2.2.1 物流系统模型概述	44
2.2.2 物流系统建模的步骤	46
2.2.3 常见的物流系统模型	47
2.3 物流系统仿真	49
2.3.1 物流系统仿真	49
2.3.2 早期数学仿真软件的发展概况	51
2.3.3 物流仿真软件包介绍	53

2.3.4	主流物流仿真软件比较	69
<b>第3章</b>	<b>物流系统预测模型和仿真</b>	<b>72</b>
3.1	预测概述	72
3.1.1	预测的定义	72
3.1.2	预测的原理与步骤	73
3.1.3	预测技术与模型分类	76
3.2	预测技术和预测模型	77
3.2.1	定性预测技术	77
3.2.2	回归预测模型	82
3.2.3	判别分析预测模型	102
3.2.4	时间序列预测模型	108
3.2.5	马尔可夫预测模型	119
3.3	预测仿真	127
<b>第4章</b>	<b>物流节点选址模型与仿真</b>	<b>131</b>
4.1	物流节点选址概述	131
4.1.1	物流节点选址	131
4.1.2	物流节点选址的研究状况	136
4.1.3	物流节点选址的主要问题与方法	137
4.2	常用物流节点选址模型	140
4.2.1	连续点选址模型	141
4.2.2	离散点选址模型	149
4.2.3	一元节点选址	156
4.2.4	多元节点选址	158
4.3	供应链节点网络规划	173
4.3.1	企业节点选择	174
4.3.2	供应链网络节点选址	177
4.4	物流节点选址仿真	182
4.4.1	物流节点选址的仿真模型	182
4.4.2	物流节点选址的静态仿真	183
4.4.3	配送中心选址仿真	185
<b>第5章</b>	<b>运输配送系统模型与仿真</b>	<b>190</b>
5.1	运输系统与配送系统概述	190
5.1.1	运输与运输系统	190

---

5.1.2	配送与配送系统 .....	196
5.1.3	运输配送的合理化 .....	201
5.2	运输配送模型 .....	204
5.2.1	物资调运模型(运输问题) .....	205
5.2.2	运输方式选择模型 .....	211
5.2.3	车辆配载问题 .....	217
5.2.4	配送区域划分模型 .....	221
5.2.5	路线选择模型 .....	224
5.3	遗传算法求解协同配送问题 .....	236
<b>第 6 章</b>	<b>库存控制模型与仿真</b> .....	<b>242</b>
6.1	库存概述 .....	242
6.1.1	库存系统 .....	243
6.1.2	库存决策 .....	247
6.1.3	库存技术与存储策略 .....	249
6.2	独立需求库存控制模型 .....	254
6.2.1	确定型库存模型 .....	254
6.2.2	随机型库存模型 .....	265
6.3	相关需求库存模型 .....	268
6.3.1	MRP 的原理 .....	269
6.3.2	MRP 应用 .....	273
6.4	库存决策控制模型仿真 .....	276
6.4.1	库存策略模型仿真 .....	276
6.4.2	随机库存模型仿真 .....	279
<b>第 7 章</b>	<b>物流节点设施布局模型与仿真</b> .....	<b>282</b>
7.1	物流节点设施布局概述 .....	282
7.1.1	物流节点定义 .....	282
7.1.2	设施布局规划 .....	286
7.1.3	设施布局规划模型的算法 .....	289
7.2	物流节点设施布局模型 .....	290
7.2.1	系统布局设计模型(SLP) .....	291
7.2.2	关系表布局模型 .....	296
7.2.3	CORELAP 布局模型 .....	298
7.3	物流节点设施布局仿真 .....	299



<b>第 8 章 物流系统绩效评价模型</b> .....	309
8.1 物流系统绩效评价概述 .....	309
8.1.1 物流系统绩效评价的目的与原则 .....	310
8.1.2 物流系统绩效评价的标准 .....	310
8.1.3 物流系统绩效评价的基本步骤 .....	311
8.2 物流系统绩效评价的指标体系 .....	312
8.2.1 物流系统绩效评价指标体系的基本内容 .....	312
8.2.2 物流系统评价指标体系 .....	313
8.3 物流系统绩效评价的常用模型与方法 .....	314
8.3.1 关联矩阵模型 .....	314
8.3.2 模糊综合评价模型 .....	318
8.3.3 层次分析法 .....	320
8.3.4 数据包络分析模型 .....	323
<b>第 9 章 物流系统决策模型</b> .....	328
9.1 决策概述 .....	328
9.1.1 决策的定义 .....	328
9.1.2 决策模型和方法 .....	331
9.2 常用决策模型 .....	332
9.2.1 确定型决策模型 .....	332
9.2.2 风险决策模型 .....	332
9.2.3 贝叶斯决策模型 .....	337
9.2.4 不确定型决策模型 .....	339
9.3 多目标决策 .....	344
9.3.1 多目标决策的基本概念 .....	344
9.3.2 多目标决策的具体方法 .....	345
9.4 目标规划法 .....	350
9.4.1 目标规划模型 .....	350
9.4.2 目标规划应用实例 .....	352
9.4.3 目标规划求解 .....	353
<b>参考文献</b> .....	355

# 第1章 绪论

从哲学角度讲,人类的复杂“认识”,按产生、发展顺序和完善程度分成“知其然”(Know What)“知其所以然”(Know Why)和“知其所未然”(Know How)这三个级别层次。

人们对一个客观物体或现象的认识,是由感性开始,也就是能够准确、完整描述其形态或过程以及观察或感受得到的结果,即“知其然”阶段。在这个阶段,可能同时伴有一些试图作理性解释的推论或猜测,但往往是不正确的,起码也是非常不完整的。

在“知其所以然”的阶段,意味着对一个客观事物的认识,提升到了抽象的理性阶段。这时不仅能够正确解释相关事物发生的一切正反现象,而且可以准确预测结果。在这个阶段,可以具有一定的影响、控制相关事物的能力,还可以人为地创造、复制或复现具有同样原理的事物。

在前两个阶段知识不断实践、积累、深化的基础上,在横向学科的启发、影响下,我们对相关事物的认识,会由量变产生质变的“飞跃”而进入最高的“知其所未然”阶段。这时,不仅抽象的认识境界可以超越自然的客观存在,更在相关领域里具备了超越自然的创造能力。这个阶段至少现在看来是无限的,或者可以认为,它的终点是另一个层次认识的开始。

不论是在自然科学领域还是人文社科领域,上述这样的认识过程,早已在无意识中普遍应用,或者说本来就是从人类极为成功的科学实践经验过程中,归纳、总结出来的。不仅可以无一例外地对照已经取得的成功,也是今后任何新兴学科的必经之路。

理想的认识模式应是在了解物质结构的基础上去认识把握事物的运动变化规律,或在认识把握事物的运动变化规律基础上去了解物质结构,即利用系统意识去思考问题。

系统——作为人类认识的重要手段,其概念来源于古代人类社会实践经验。人类自有生产活动以来,无时无刻不在和自然系统打交道。在系统学科远没有形成之前,人类就已经在进行辩证地系统思维,并利用系统的知识认知自然世界和人文社会,进行开发、探索和创新。

在现代实际的社会、经济、军事系统中,人们为了更好地达到一定的系统目标和实现系统一定的功能,都希望深入地了解和研究分析系统的内部结构和各要素或组成部分之间的关系。但是实际的系统描述却极为困难,如上述的社会、经济、军事大系统,其行为和政策效果往往无法用直接试验的办法得到。有些工程技术问题,虽然可以通过试验掌握系统的部分结构功能和特性,但是往往代价太大,所以人们提出了采用系统模型与模拟仿真方法来研究分析比较复杂的现实系统。

系统模型是对系统的特征要素、有关信息和变化规律的一种抽象表述,它反映了系统某些本质属性,描述了系统各要素间的相互关系、系统与环境之间的相互作用。模型是客观世界的抽象描述,具体地说,它是一个或一组表示某系统行为的方程式或描述系统行为的抽象概念的组舍。

研究系统模型的意义在于我们能通过建立系统模型来求解系统实际运作中的某些问

题。在实际系统的实体运作过程中,很难也不可能都通过对实际系统进行试验来解决,通过系统模型来进行替代研究可以降低这种难度。另外,许多的客观实体系统很难做试验,则可利用系统模型代替;或对象问题虽然可以做试验,但是利用模型更便于理解。此外,模型易于操作,利用模型的参数变化来了解现实问题的本质和规律更经济方便。因此,无论是在一般系统还是复杂巨系统地分析中,系统模型都被广泛地应用。

系统仿真是近 30 年发展起来的一门综合性很强的新兴技术学科,它涉及系统分析、控制理论、计算方法和计算机技术。系统仿真就是利用系统模型对实际系统进行实验研究的过程,通过模拟仿真可以详细了解模型的系统特性,达到认识真实系统的目的。当在实际系统上进行实验研究或通过模型构建比较困难甚至无法实现时,仿真技术就成了十分重要,甚至是不可少的工具。

随着计算机硬件与软件的发展,从 20 世纪 70 年代开始,计算机仿真也迅速发展起来。计算机仿真的特点是精度高、重复性好、通用性强、价格便宜。至今已发展了许多计算机仿真程序包和仿真语言,使用起来特别方便。因此,仿真技术在生产管理、工程技术、军事研究、科学试验、国民经济、重大决策以及在社会学和自然科学等领域内得到了广泛的应用,其效果是十分显著的。在计算机出现以前,人们只采用物理仿真。那时的仿真技术附属在其他有关学科之中。随着计算机的发展,在仿真领域中提出了大量共同性的理论、方法和技术问题,致使仿真逐渐形成一门独立的学科。

本章主要说明有关系统、系统模型及系统仿真的一些基本概念,目的在于使读者对系统、系统模型及系统仿真有一个基本的了解,为进一步阅读后续各章节打下基础。

## 1.1 系统概述

### 1.1.1 系统的定义

“系统”一词由来已久,在古希腊是指复杂事物的总体。到近代,一些科学家和哲学家常用系统一词来表示复杂的具有一定结构的整体。在宏观世界和微观世界,从基本粒子到宇宙,从细胞到人类社会,从动植物到社会组织,无一不是系统的存在方式。系统时时处处可见:一台机器、一个工厂、一个企业、一定自然条件下的植物群落、一个组织、一个国家等等,都可视为一个系统。从不同的研究和目的出发,可对系统作不同层次和不同范围的划分,例如一个细胞、一个器官、一个人、一个家庭、一条街道、一座城市等,都可相对独立地划为一个系统来进行研究,一个系统可以包括若干子系统,但它本身又是另一个更高层次系统的子系统。

虽然人类早就有关于系统的思想,且系统的存在是客观事实,但对系统的认识却经历了漫长的岁月。从系统论发展历程来看,早期对简单系统研究得较多,而对复杂系统则研究得较少。直到 20 世纪 30 年代前后才逐渐形成一般系统论。一般系统论来源于生物学中的机体论,是在研究复杂的生命系统中诞生的。1925 年英国数理逻辑学家和哲学家 N. 怀特海在《科学与近代世界》一文中提出用机体论代替机械决定论,认为只有把生命体看成是一个有

机整体,才能解释复杂的生命现象。1925年美国学者 A. J. 洛特加龙省卡发表的《物理生物学原理》和1927年德国学者 W. 克勒发表的《论调节问题》中先后提出了一般系统论的思想。1924—1928年奥地利理论生物学家贝塔朗菲, L. von 多次发表文章表达一般系统论的思想,提出生物学中有机体的概念,强调必须把有机体当作一个整体或系统来研究,才能发现不同层次上的组织原理。他在1932年发表的《理论生物学》和1934年发表的《现代发展理论》中提出用数学模型来研究生物学的方法和机体系统论的概念,把协调、有序、目的性等概念用于研究有机体,形成研究生命体的三个基本观点,即系统观点、动态观点和层次观点。1937年贝塔朗菲在芝加哥大学的一次哲学讨论会上第一次提出一般系统论的概念。但由于当时生物学界的压力,没有正式发表。1945年他发表《关于一般系统论》的文章,但不久毁于战火,没有引起人们的注意。1947—1948年贝塔朗菲在美国讲学和参加专题讨论会时进一步阐明了一般系统论的思想,指出不论系统的具体种类、组成部分的性质和它们之间的关系如何,存在着适用于综合系统或子系统的一般模式、原则和规律,并于1954年发起成立一般系统论学会(后改名为一般系统论研究会),促进一般系统论的发展,出版《行为科学》杂志和《一般系统年鉴》。虽然一般系统论几乎是与控制论、信息论同时出现的,但直到60—70年代才受到人们的重视。1968年贝塔朗菲的专著《一般系统论——基础、发展和应用》,总结了一般系统论的概念、方法和应用。1972年他发表《一般系统论的历史和现状》,试图重新定义一般系统论。贝塔朗菲认为,把一般系统论局限于技术方面当作一种数学理论来看是不适宜的,因为有许多系统问题不能用现代数学概念表达。一般系统论这一术语有更广泛的内容,包括极广泛的研究领域,其中有三个主要的方面:

(1) 关于系统的科学:又称数学系统论。这是用精确的数学语言来描述系统,研究适用于一切系统的根本学说。

(2) 系统技术:又称系统工程。这是用系统思想和系统方法来研究工程系统、生命系统、经济系统和社会系统等复杂系统。

(3) 系统哲学:研究一般系统论的科学方法论的性质,并把它上升到哲学方法论的地位。

贝塔朗菲企图把一般系统论扩展到系统科学的范畴,几乎把系统科学的三个层次都包括进去了。但是现代一般系统论的主要研究内容尚局限于系统思想、系统同构、开放系统和系统哲学等方面。而系统工程专门研究复杂系统的组织管理的技术,成为一门独立的学科,并不包括在一般系统论的研究范围内。

虽然发展至今,关于系统的认识,目前科技界和哲学界的认识很不一致,众说纷纭。国内外学者给系统所下的定义不下几十个,真是“仁者见仁,智者见智”,主要有以下几种:

(1) 一般系统理论创始人冯·贝塔朗菲认为“系统是相互作用的诸要素的复合体”;

(2) 韦氏大辞典(Weberster 大辞典)中系统(System)被解释为有组织或被组织的整体,被组合的整体所形成的各种概念和原理的综合,以有规则地相互作用、相互依赖的形式组成的诸要素的集合;

(3) 钱学森教授把系统定义为:“极其复杂的研制对象,即由相互作用和相互依赖的若干组成部分组合成的具有特定功能的有机整体,而且这个‘系统’本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”

尽管学者们提出的系统定义,具体说法有这样那样的差异。但不难看出,其中有三项是

普遍的、本质的东西:其一是系统的整体性;其二是系统由相互作用和相互依存的要素所组成;其三是系统受环境影响和干扰,和环境相互发生作用。学者们提出的系统定义虽然语句不同,并有各种附加条件,但没有一个关于系统的定义不包括这三项。从实际情形来看也是这样,任何系统都必须具备这三者,缺一不可,否则,就不成其为系统,也谈不到系统。系统的本质特征是整体性。系统要素在系统中有着重要的作用,是系统的基础,它可以促进系统的发展,也可以阻碍系统的发展,在一定条件下,甚至可以对系统的存在和发展起着决定的作用。环境也是系统发展的必要条件,任何系统都同其周围环境相互联系、相互作用着,都不可能孤立地存在和发展。一个城市,要是封闭起来,人流、物流、能流和信息流统统切断,不能进出,那么,不要多久,就会变成一座死城。在当今世界上,一个国家的经济,不同其他国家的经济相互联系、相互交流,互通有无、取长补短,就不可能迅速发展。

在这里,我们给系统下一个定义:“系统是由若干可以相互区别、相互联系而又相互作用的要素所组成,在一定的阶层结构形成中分布,在给定的环境约束下,为达到整体的目的而存在的有机集合体。”

### 1.1.2 系统模型、研究内容与方法

#### 一、系统的一般模型

系统是相对外部环境而言的,并且和外部环境的界限往往是模糊过渡的,所以严格地说系统是一个模糊集合。外部环境向系统提供劳力、手段、资源、能量、信息,称为系统的“输入”。系统以自身所具备的特定功能,将“输入”进行必要的转换处理活动,使之成为有用的产品,供外部环境使用,称之为系统的“输出”。输入、处理和输出是系统的三要素。直观地讲,对于一个工厂而言,我们需要输入原材料,经过加工处理,才能得到一定产品作为输出,这一切我们就称之为一个生产系统。外部环境因资源有限、需求波动、技术进步以及其他各种变化因素的影响,对系统加以约束或影响,这些因素称为系统的“干扰”因素。此外,输出的成果不一定是理想的,可能偏离预期目标,因此要将输出的信息返回给输入,以便调整和修正系统的活动,这称为系统的“反馈”。系统的一般运作模型如图 1-1 所示。

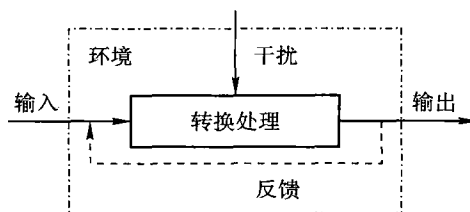


图 1-1 系统的一般运作模式

从运作模型分析,我们要着重把握以下四点:

(1)系统由输入、处理、输出三部分组成。任何系统都由环境输入物质、能量和信息,经系统处理后向环境输出物质、能量和信息,因此系统均具有将输入转化为输出的功能。

(2)系统内部都有物质、能量、信息三种流的流动。系统本身的运动过程就是对这三种流的处理过程,我们过去往往只重视物质、能量两种流的管理,而忽视了信息流的管理,这是造成工作被动的原因之一。从对系统的组织管理角度研究,信息流是至关重要的。

(3)系统都有反馈和环境适应能力。系统都靠信息的反馈控制调整自身的运行,以适应

环境并实现目标。

(4)系统都有一严密的层次结构。生物系统、工程系统和非工程系统均如此。

## 二、系统的研究内容

我们抽象出系统的一般运作模式是为了方便研究,以发现问题,解决问题。任何系统对我们而言都存在三方面需要研究的内容,即实体、属性和活动。

实体:存在于系统中的每一项确定的物体,即组成系统的具体对象元素;

属性:实体所具有的每一项有效的特征,即实体的特性(状态和参数);

活动:导致系统状态发生变化的一个过程,是在一段时间发生的情况,即实体随时间推移发生的状态变化。

系统研究除了研究实体、属性和活动,还需要研究系统的环境。

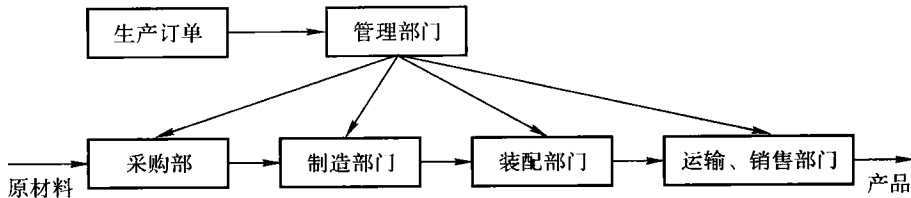


图 1-2 工厂系统示意图

就图 1-2 的工厂系统而言,系统的实体是工厂的各部门、订单和产品;它的属性是部门类型、订单数量、各部门的设备数量;它的活动则是各个部门的计划、采购、装配和销售过程;环境则是该工厂所处的社会经济环境和自然环境。

应注意的是,一次具体的研究不需要、也不太可能关注系统的所有实体、属性、活动以及环境,而只需要关注与研究目的有关的部分。

## 三、系统工程的一般研究方法

20 世纪 60 年代,系统思想的量化已发展成既有理论指导,又有科学方法和实践内容的新的工程技术学科——系统工程。进行任何一项工作所使用的方法,总是取决于它的指导思想。系统工程的研究方法也同样取决于它的指导思想——系统思想。综合系统方法、反馈方法和信息方法就构成了系统工程处理问题的基本方法。

由于系统工程是人、设备和过程有机地、有秩序地组合于一定环境之中的工程技术,因此,系统工程就必须在系统思想的指导下,不仅要研究系统的组成部分,还必须研究各部分之间的关联;不仅要研究单一过程,而且还要研究事物发展的全过程;不仅要考虑技术因素,还要研究考虑社会、经济、环境、心理、生同等各种因素;不仅要研究工程问题,而且还必须研究其组织和管理问题;不仅考虑当前情况,进行静态的研究,还必须考虑长远的发展和变化,进行动态的研究;不仅考虑单一方案,还必须综合地考虑各种方案;不仅考虑最优解,还必须因地制宜地考虑满意解或次优解;不仅要研究物质、能量的流动,而且更重要的是研究信息的流动;不仅要考虑系统内在的联系,而且要考虑与系统有关的环境因素和人的因素等。

总之,我们需要从以下四个方面着手研究一个系统:

(1)系统是各组成部分的有机组合,是各子过程的有机组合。单独研究子系统和子过程并不能揭示系统运动的规律性,只有在确定子系统之间、子过程之间的互相联系的情况下,研究子系统和子过程,才能达到系统整体最优化的目的。

(2)事物总是在不断发展和变化的,因此,不能孤立地、静止地研究系统,必须动态地研究和探索系统发展和变化的规律性。

(3)没有比较就没有鉴别,只有在多方案的分析和比较下,才能识别优劣,故在多方案的论证中选择最优的或满意的方案是系统工程处理问题的主要方法。

(4)系统工程特点之一是数学理论和行为科学的统一,充分考虑人在系统中的作用和地位,充分发挥人的因素的作用,是系统工程处理问题时不可忽略的。

### 1.1.3 系统的特征与分类

#### 一、系统的特征

作为一个系统,除前面提及的系统的整体性、系统由相互作用和相互依存的要素所组成、系统受环境影响和干扰并和环境相互发生作用这三项最普遍的、最本质的东西外,我们一般认为,应具备以下六大属性。

##### (1)系统的目的性

任何系统都是有目的和目标的。系统各组成部分按照统一的目的组织起来的性质叫系统的目的性。例如销售系统,其目的是为了增加商品销售量、增加销售的营业额,是通过销售系统的具体功能发挥得以达到和实现的,因此任何系统都是具备某种特定指向的功能。任何系统,尤其是人造系统都具有特定的功能,其组成都具有一定的目的并且有达成目的的手段。作为系统的一个组成部分都有为系统目的服务的一面,同时作为不同于其他组成部分又有维护自身利益的一面,因此研究确定系统目的和子系统目的之间的关系,保证各子系统在系统总目的的指导下,协同配合,分工合作,在完成各子系统目的的同时达成系统的目的是研究系统目的性的主要内容。

一般来说,系统的目标通常不是单一的,而是多方面的,在这其中又往往在特定的时间段或特定的条件下,存在一个主要目标,且这个目标受到相关约束的制约。如以一个企业的总体发展规划为例,总存在一个长期的战略目的,但在企业的不同发展阶段,作为实现长期战略目的的细化战略——企业的近期战略目的就有可能大不一样。因此,系统的目的般用更具体的目标来表达,即系统具有总目标,总目标又细分为若干个分目标。系统的目的性可通过总目标来表达:

$$G = \{g_i | g_i \in G, i = 1, 2, \dots, p\} \quad (1-1)$$

式中: $G$ ——系统的总目标;

$g_i$ ——系统的任意一个分目标;

$i$ ——系统的分目标数。

值得注意的是,系统分目标集必须保证系统总目标的实现,但是分目标之间可能是矛盾的,如物流系统中时时强调的必须正确协调和处理好的物流服务与物流成本之间的效益背反(Trade-off),因此往往采用某种形式的折衷是完全必要的,即在矛盾的分目标之间需求分目标之间的均衡,达到系统的最优。

##### (2)系统的集合性

所谓集合性,是指系统都是由两个或两个以上可识别的部分(或子系统)所构成的多层次整体。元素可以是实体的,如人、车辆、货物等,也可以是非实体的(概念的),如班组计划、调度计划、需求计划等。系统的集合性的数学表达式如下:

$$X = \{x_i | x \in X, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (1-2)$$

式中： $X$ ——元素的集合，表征某个系统；

$x_i$ ——集合中的某一个元素；

$i$ ——集合中的元素数。

需要说明的是，在同一个系统中，两个完全同质的元素，我们往往将其视为一个，即在上述表达式中隐含这样一个信息，即  $x_i \neq x_j$ 。另外，子系统是系统不可缺少的一部分。

### (3) 系统的相关性

系统各组成部分(子系统)之间按照一定的方式相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的性质叫系统的关联性。通过系统的关联性可揭示出系统整体特性和整体与部分的关系。例如在国民经济系统中，工业系统为农业系统提供机械设备、化肥等，而农业系统为工业系统提供原料、粮食和市场等。系统各个元素的相互关联、相互支持和相互制约，使之有机结合成为有特定功能的社会系统。

系统的相关性是用来说明组成元素之间相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的关系的。对系统而言，仅有组成元素而元素之间不存在相互关系，还不能构成系统，从这个角度上讲，系统的相关性是系统元素之间全部关系的总和。二元关系是多元关系的基础，我们以此为例如来研究系统的相关性。

设  $x_i \in X_i \subset X$ ，而  $x_j \in X_j \subset X$ ，则相关关系  $R$  可表示为：

$$x_i R x_j, x_j R x_i \text{ 或 } x_i = R(x_j), x_j = R(x_i) \quad (1-3)$$

具有这种关系的  $(x_i, x_j)$  顺序对视系统相关性的认识对象，这意味着要研究和确定  $x_i$  和  $x_j$  的对应关系，这种对应称作映象。如果对应任一  $x_i$  总有一个  $x_j$  存在，反之有一个  $x_j$  也有确定的  $x_i$  存在，这时  $x_j$  是  $x_i$  的映象， $x_i$  是  $x_j$  的原象。 $X_I$  是原象集， $X_J$  是映象集，这种  $R$  关系就是  $X_I$  和  $X_J$  的顺序对象关系。则利用系统的相关性，系统的定义可表示为：

$$S = \{X | R\} \quad (1-4)$$

从上面的二元关系的数学表达式，即可联想初等数学中的函数概念，而实际上函数即为系统的一个特例。

### (4) 系统的层次性

系统作为一个相互作用的元素的总体，有着一定的层次结构，并分解为一系列的子系统。这种分解的基本标志是目标，不同的功能目标要求会产生不同的子系统。作为一个例子，我们可以以交通系统为例，对宏观的交通系统我们可按运输工具分为民航系统、公路系统、铁路系统、水运系统和管道系统，按出行模式我们则将交通系统分为公共交通系统，私家车交通系统等，按运输对象我们可将其分为货运交通系统和客运交通系统等。不论如何分解，系统的各级子系统和系统元素可以用一个金字塔形势的结构来表示，如图 1-3 所示，我们称之为系统的结构图。

图 1-3 的系统结构示意图反映了系统的层次关系。处于金字塔尖的方块(顶点)代表系统的支配元素。一般来讲，系统结构图中的顶点数是有限的，顶点间的连线表示元素间的各种关系。在系统论中主要有三种关系(图中用三种不同的线条表示)：隶属关系(粗实线)、反馈关系(细实线)、并联关系(虚线)。

又如本书第 5 章中介绍的图 5-10 选择物流企业层次分析结构也是一种系统结构示意图。总的来讲，但凡系统都有结构，且结构都是有序的。系统的有序性主要通过系统的层次



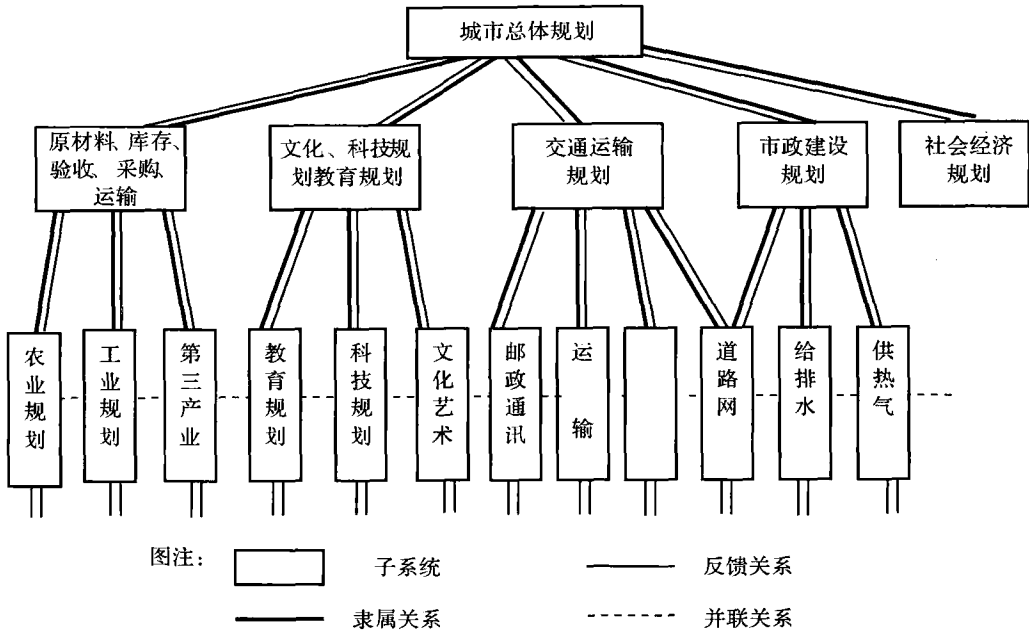


图 1-3 系统结构图示意图

关系来体现。由于系统的各组成部分在系统中所处的地位不同，而形成了不同的层次，该层次关系（即三种关系）决定了系统内物质、能量和信息的流动，从而使系统能够作为一个整体发挥较高的功能和效率。

#### (5) 系统的整体性

系统作为由若干相互作用和相互联系的部分有机组合的、有一定结构和功能的整体，其本质特征是有机的整体性。换句话说，组成系统的各个要素不是简单地集合在一起的，而是有机地组成一个整体，每个元素要服从整体，追求整体最优，而不是每个元素最优。这就是通常所说的全局观点。有了系统的整体性，即使在系统中每个元素并不十分完善，通过综合、协调，仍然使整体系统达到较完美的程度。反之，如果不考虑整体利益，单纯地追求每个元素达到最好的结果，从全局看系统还可能是最差的系统。

系统整体性首先是系统目标的整体性；其次是系统功能的整体性，即组成系统的各部分的功能必须服从系统整体的功能，系统功能不等于各组成部分功能的简单相加，确定对系统的评价准则时，必须以系统整体为基础；第三是系统规律的整体性，系统整体的规律不是各组成部分规律的叠加。总之一切系统都是整体，是组成部分与环境相互作用的整体，是各组成部分之间相互联系、相互作用、相互依赖、相互制约所形成的整体。

系统的整体性主要是从协调角度来说明系统的，即系统的整体性应保证在给定的目标下，使系统元素集、元素的关系集以及其层次结构的整体组合效果最大化：

$$E^* = \max_{p \rightarrow C} P(X, R, C) \quad (1-5)$$

式中： $E^*$ ——对应于目标集的条件下所获得的系统最大组合效果；

$P(X, R, C)$ ——整体组合效果函数， $C$  代表系统层次结构。