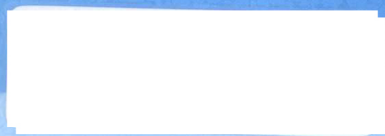


系统动力学 在企业经营仿真中的应用

谢英亮 刘勤蓝 江 华 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

江西理工大学优秀学术著作出版基金资助出版

系统动力学 在企业经营仿真中的应用

谢英亮 刘勤蓝 江 华 著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2012

内 容 提 要

本书在简要介绍系统动力学理论和方法的基础上,详细阐述了系统动力学在企业经营仿真中的应用方法和有关研究成果,主要内容包括:系统动力学及 Vensim 简介、航空公司经营特征及运营系统介绍、航空公司运营仿真模型应用案例、有色金属矿山企业运营仿真应用案例等。

本书可供高校经济管理类专业师生、企业管理研究人员、企业仿真软件开发人员及企业经营管理者参考。

图书在版编目(CIP)数据

系统动力学在企业经营仿真中的应用/谢英亮,刘勤蓝,江华著. —北京:冶金工业出版社,2012.11

ISBN 978-7-5024-6084-6

I. ①系… II. ①谢… ②刘… ③江… III. ①系统动态学—应用—企业管理—仿真系统 IV. ①F270.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 268503 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 禹 蕊 刘 倩 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6084-6

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京百善印刷厂印刷

2012 年 11 月第 1 版,2012 年 11 月第 1 次印刷

148mm×210mm;4.625 印张;123 千字;138 页

17.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

在市场经济条件下，企业不再是封闭性的生产型单位，而是一个与生产同类产品的企业相互竞争的企业，是一个与采购市场、销售市场、劳动力市场和金融机构等外部经济体系有着广泛联系的开放性系统。面对激烈的竞争，在错综复杂的现代生产经营活动过程中，企业必须面向市场，抓住重点，突出主线，以获取最大的经济效益和社会效益等为主要目标，就企业的一系列生产经营活动做出科学的决策。

面对企业内外部错综复杂的动态变化，如何跳出复杂，把握重点，著名学者彼得·圣吉推崇的“微世界”很值得企业的管理层学习。企业“微世界”的创建也就是企业生产经营仿真系统的构建过程，即个人电脑使复杂的团体互动之整合成为可能。如今，供管理者做实验的“微世界”所探究的，包括从控制成长到产品发展、市场营销、运作管理、财务管理、品质改善等各式各样的课题，并兼跨服务业和制造业。这种“微世界”是一种借助计算机技术的模拟仿真，利用计算机仿真技术量化地刻画企业复杂的运作流程并加以诊断和改善，它在国外开展已有四五十年的历史，至今已经成为企业提升运营效率的重要工具之一。仿真不用搭建实体模型，只用实体模型的小部分费用在计算机中建立虚拟模型来测试各种想法和假设条件，节省了大量的资金投入，最重要的是，极大地降低了决策的风险；仿真可以对整个产品生命周期的各个流程进行建模，可以帮助企业找到增值能力不强、资源没有充分利用和反应速度不够及时的环节，并做出改进的建议。越是复杂的系统，仿真越能够提供全局而系统性的研究，越

能发挥仅仅依靠头脑所无法提供的复杂分析能力，因而，企业生产经营现实系统越是具有高度的复杂性，其仿真系统越能凸显其优越性。

本书以系统动力学为工具，以航空运输企业和矿山企业为背景，建立适合于企业应用的管理政策实验模型，提供情境模拟分析环境，重点研究企业经营模拟仿真系统的建构和应用。多年来，作者围绕着系统动力学在企业模拟仿真中的应用展开了深入的探索，并在其理论基础、建模方法、应用案例研究等方面取得了可喜的进展。

本书第1章由谢英亮撰写，第2章、第3章由江华撰写，第4章、第5章由刘勤蓝撰写。谢英亮负责本书的总体框架构思并参与第2章~第5章的撰写。

限于作者的水平和经验，书中不足之处，敬请广大读者批评指正。

作 者
2012年6月

目 录

1 系统动力学及 Vensim 简介	1
1.1 系统动力学的产生与发展	1
1.1.1 国外系统动力学发展历程及应用领域	1
1.1.2 国内系统动力学发展历程及应用领域	2
1.2 系统动力学基本理论	3
1.2.1 系统复杂性、因果关系图	3
1.2.2 系统流图	6
1.2.3 系统变量与方程式	6
1.2.4 系统动力学模型的特点	8
1.2.5 系统动力学建模原则	8
1.2.6 系统动力学的建模步骤	9
1.3 Vensim 软件简介	10
1.3.1 系统动力学软件的发展历程	10
1.3.2 Vensim 软件的特点	11
1.3.3 Vensim 软件的界面	12
1.3.4 Vensim 软件的使用	13
1.4 企业经营仿真与系统动力学的应用	17
2 航空公司经营特征及运营系统介绍	21
2.1 航空公司运营系统构成	21
2.2 航空公司经营特点	23
2.2.1 航空运输产品的特征	23
2.2.2 航空公司运营过程的特殊性	24

· IV ·	目 录	
2.3	航空公司成本构成体系	26
2.4	航空公司收益管理体系	27
2.4.1	收益概念	27
2.4.2	收益管理基本组成	28
2.5	航空公司战略规划系统	31
2.6	航空公司经营仿真系统动力学模型的建立	32
2.6.1	机队规划子系统	32
2.6.2	客与货流量预测子系统	35
2.6.3	人力资源子系统	36
2.6.4	固定资产子系统	40
2.6.5	存货子系统	42
2.6.6	资产负债子系统	43
2.6.7	收入成本子系统	45
2.6.8	现金流量子系统	48
2.6.9	所有者权益子系统	49
3	航空公司运营仿真模型应用案例	51
3.1	样本企业基本概况	51
3.2	模型的基本假设及参数估计	52
3.2.1	基本模拟假设	52
3.2.2	模型基本模拟参数估计	53
3.2.3	模型有效性检验	60
3.2.4	仿真运行及分析	62
4	矿山企业经营仿真系统	84
4.1	矿山企业的定义及其经营特点	84
4.1.1	矿山企业定义	84
4.1.2	矿山企业的运营特点	85
4.2	有色金属矿山企业的生产过程	89

4.2.1	生产过程简介	89
4.2.2	有色金属矿山企业生产运营过程的特殊性	90
4.3	有色金属矿山企业运营战略构成	91
4.3.1	有色金属矿产品价格与市场	91
4.3.2	稀缺资源的有效管理	92
4.3.3	生产计划策略	92
4.3.4	循环经济和清洁生产理念下的运营管理	93
4.3.5	与财务管理结合的运营管理	94
4.4	系统动力学应用于有色金属矿山企业运营仿真的可行性	94
4.5	矿山企业运营系统动力学模型	95
4.5.1	储量子系统	95
4.5.2	产量子系统	97
4.5.3	产品价格子系统	98
4.5.4	人力资源子系统	100
4.5.5	环境子系统	106
4.5.6	资产负债子系统	106
4.5.7	固定资产子系统	109
4.5.8	库存材料子系统	110
4.5.9	收入成本子系统	112
4.5.10	税收子系统	113
4.5.11	筹资子系统	115
4.5.12	现金流量子系统	115
5	有色金属矿山企业运营仿真应用案例——以某钨矿山为例	118
5.1	样本企业简介	118
5.1.1	某钨矿企业概况	118
5.1.2	企业发展优劣势分析	119
5.2	模型基本模拟的假设及参数的估计	119
5.2.1	基本模拟的假设	119

· VI ·	目 录	-----
5.2.2	基本模拟参数的估计	120
5.3	模型的有效性检验	124
5.3.1	系统的边界检验	124
5.3.2	运行检验	124
5.4	仿真结果分析	125
5.4.1	基本仿真运行结果	125
5.4.2	模型的灵敏性分析	129
	参考文献	136

系统动力学及Vensim简介

1.1 系统动力学的产生与发展^[1]

1.1.1 国外系统动力学发展历程及应用领域

系统动力学 (system dynamics, SD) 出现于1956年, 在20世纪50年代末成为一门独立的学科, 其创始者为美国麻省理工学院福瑞斯特 (J. W. Forrester) 教授。

20世纪50年代后期, 系统动力学逐步发展成为一门新的学科。初期它主要应用于工业企业管理, 处理诸如生产与雇员情况的变动、市场股票与市场增长的不稳定性等问题。此学科早期的称呼——“工业动力学”即因此而得名。而后, 系统动力学的应用范围日益扩大, 从民用到军用, 从科研、设计工作的管理到城市摆脱停滞与衰退的决策, 从世界面临指数式增长的威胁与资源储量日益殆尽的危机到检验糖尿病的病理假设, 应用范围非常广泛。

20世纪60年代是系统动力学成长的重要时期, 一批代表这一阶段理论与应用研究成果水平的论著问世。福瑞斯特教授发表于1961年的《工业动力学》(Industrial Dynamics) 已成为本学科的经典著作, 它阐明了系统动力学的原理与典型应用。《系统原理》(Principles of Systems, 1968) 一书侧重介绍了系统的基本结构。《城市动力学》(Urban Dynamics, 1969) 则总结了美国城市兴衰问题的理论与应用研究的成果。

20 世纪 70 年代系统动力学进入蓬勃发展时期, 由罗马俱乐部提供财政支持, 以 Meadows 为首的国际研究小组所承担的世界模型研究课题, 研究了世界范围的人口、资源、工农业和环境污染诸因素的相互关系, 以及产生后果的各种可能性; 而以福瑞斯特教授为首的美国国家模型研究小组, 将美国的社会经济作为一个整体, 成功地研究了通货膨胀和失业等社会经济问题, 第一次从理论上阐述了经济学家长期争论不休的经济波动的产生机制。

这一成就受到西方的重视, 也使系统动力学于 20 世纪 80 年代初在理论和应用研究两方面都取得了飞跃式的发展, 达到了更成熟的阶段。目前系统动力学正处在一个蓬勃发展的时期, 其自身的理论、方法和模型体系仍在深度和广度上不断发展和完善。

目前, 国外系统动力学的应用非常广泛。在宏观经济、微观经济、社会与人口、生态与环境、科技与教育、医学、生物学及工程技术等领域都有许多系统动力学的研究成果, 主要应用领域划分如下:

- (1) 战略研究和产业、企业规划;
- (2) 业务流程设计;
- (3) 项目管理;
- (4) 物流与供应链管理;
- (5) 公共管理和公共政策;
- (6) 学习型组织建设;
- (7) 生物建模和医疗建模;
- (8) 能源和环境;
- (9) 自然科学和社会科学领域的理论发展;
- (10) 动态决策分析;
- (11) 复杂的非线性的动力学。

1.1.2 国内系统动力学发展历程及应用领域^[1~7]

20 世纪 70 年代末, 一批专家学者将系统动力学引入中国, 如上海的杨通谊先生和王其藩教授, 浙江的许庆瑞教授以及上海交大的

吴建中教授等。系统动力学在研究复杂的非线性系统方面具有无可比拟的优势，相关学者把它应用在社会、经济、商业、城市建设乃至生物、医疗、环境保护等方面的研究中，都提出了独到见解并做出了巨大贡献。在其被引入中国后，得到中国学者的大力支持，并广泛应用于国民经济管理的各个领域。在中国，很多学者运用系统动力学理论和方法，对社会生活、生态环境、社会可持续发展、企业经营管理等领域的实际问题进行了系统性的研究，为社会经济发展做出了巨大贡献。目前系统动力学方法在我国已开始用于地区和国家级规划模型，一些高等院校及专业学术团体正积极参与研究并向社会推广应用。

1.2 系统动力学基本理论

1.2.1 系统复杂性、因果关系图^[8,9]

1.2.1.1 系统复杂性

在我们周围，系统比比皆是，有电气的、机械的、生物的、生态的、经济的、社会的，不胜枚举。大的系统如天体运行系统，涉及资源、人口、粮食、资产以及污染问题的世界社会—经济—生态系统，一个国家或一个区域的社会—经济—生态系统，涉及城市建设、人口、就业、交通、住房与社会福利的城镇系统，还有交通运输系统等等。小的系统诸如一些企业的生产、采购与销售的经营管理系统，飞机、船舶或汽车等机械系统，一棵树也可以成为一个生物系统等等。

无论是大系统还是小系统，都具有动态复杂的特征。系统内部各要素间、系统与系统间相互影响、相互作用，使得系统的输入输出变得非常复杂。

系统动力学是处理信息反馈系统的动态行为的方法论。作为其研究对象的实际系统，一般都是高阶次、非线性、多重反馈的复杂

系统。系统动力学中的系统一般包括三类构成要素：物质、信息和运动（包括人及其运动）。系统可分为天然系统和人工系统，如海洋、河流、森林等可以认为是天然系统，而通过人为规定的组织、制度等建立起来的各种管理系统、经济系统，人类对自然现象和社会现象认识所形成的科学系统、技术系统等都属于人工系统。系统有边界，边界以内为系统构成要素，边界以外为系统环境，边界可以根据研究目的和范围人为划定。

综上所述，我们可以得出形成系统的四个基本条件：

（1）系统的整体有一个总目标，各元素围绕一个总目标而运动。

（2）每一个系统都有边界，边界内应有两个以上的构成要素。因此，我们研究某个系统，首先应探讨组成这个系统的元素是什么，确定出系统的边界。

（3）系统内每个元素有各自的功能，各元素之间有相互作用的关系。

（4）系统具有时间顺序。物质在系统内的运转称为物流，资金的运转称为资金流，信息的传递成为信息流。无论哪一种，我们统称为流。这些流随时间迁移，沿时间轴运动，也就是说什么时间产生，其结果如何，这种结果会有什么发展，都是按时间顺序进行的。

1.2.1.2 因果关系图

由于系统内部各要素间存在相互联系、相互影响的复杂关系，所以，可以通过描述系统各要素的因果关系来描述系统各要素间的关系。在系统动力学方法中，我们应用因果关系图来描述系统各要素间的因果关系。因果关系图有以下几个部分组成。

A 因果关系

因果关系是系统动力学方法建模的基础，是对复杂系统的要素与关系的一种真实写照。

B 因果键

通常因果关系是用一个箭头表示的。例如系统中的两个要素 A 和 B，图 1-1 表示了这两个要素间的因果关系，A 是原因，B 是结果。这种有箭头的线条则称为因果键，简称因果键。如果 A 增 B 也增，则称 A、B 间具有正因果关系，并用“+”

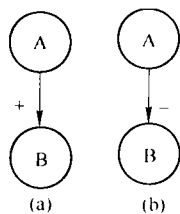


图 1-1 因果键

标在因果键旁边，如图 1-1a 所示。同理，(a) 正因果键；(b) 负因果键。图 1-1b 表示的是负因果关系，该键称为负因果键，说明 A、B 变化方向相反，A 增 B 减，负因果键用“-”标出。

C 反馈环

两个以上的因果键首尾相连形成环状，被称为因果反馈环，如图 1-2a 所示。因为因果键有正负之分，所以，由这种带极性的因果键串联而成的反馈环也必然有正反馈环和负反馈环。偶数个负因果关系形成反馈回路为正反馈环，奇数个负因果关系形成反馈回路为负反馈环。按照因果关系，正反馈环的性质是：如果反馈环中有某个因素的属性发生变化，那么，由于其中一系列要素的属性递推作用的结果，将使该要素的属性沿着原先变化的方向继续变化下去。因此，正的反馈环具有自我强化（或弱化）的作用，是系统中促进系统发展（或衰退）的因素。在负的反馈环中，当某个要素发生变化时，在反馈环中一系列要素属性递推作用的结果，将使该要素的属性沿着与原来变化方向相反的方向变化，因此，具有内部调节器（稳定器）的效果。负反馈环可以控制系统的发展速度或者衰退速度，是使系统具有自我调节功能必不可少的因素。系统动力学认为，系统的性质和行为完全取决于系统中存在的反馈环。图 1-2b 所示的是正反馈环，图 1-2c 所示的是负反馈环。

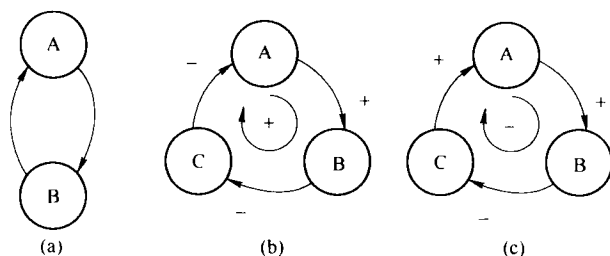


图 1-2 反馈环

(a) 因果反馈环；(b) 正反馈环；(c) 负反馈环

1.2.2 系统流图

系统动力学在充分考虑到动态系统实物或信息“流动”的基础上，提出了系统动力学的“流图”结构。系统动力学流图并不拘泥于动态系统的数学描述，而是把重点放在给出系统内部实物或信息之间的相互关系上。如果系统动力学流图和定量描述相结合，就可以给出动态系统状态的全部时间行为。简单的系统动力学流图见图 1-3。

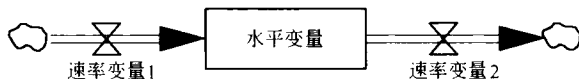


图 1-3 系统动力学流图

1.2.3 系统变量与方程式

1.2.3.1 系统变量

系统动力学常用的变量有如下几种：

(1) 水平变量 (level)。水平变量描述了系统的状态，它又可称

为状态变量。水平变量反映了动态系统变量的时间累计过程。因此，在系统中可以观察水平变量在任何时间瞬时的取值，它的取值仅仅受速率变量的影响而改变。

(2) 速率变量 (rate)。速率变量描述了水平变量的时间变化，它又可称为决策变量。在数学意义上，速率变量反映了导数的概念，因而它是不能瞬时观察的。在系统中，我们只能观察到速率变量在时间段内的平均值。因此，在系统动力学模型中采用区间上的平均速率来代替瞬时速率进行计算。

(3) 辅助变量 (auxiliary)。在理论上，系统动力学只需要水平变量和速率变量，加上系统的初始状态就可以确定动态系统的全部过程。但在使用上常常还需要某些中间结果，例如对系统信息量的理解或计算机仿真输出等，因而又引起了辅助变量这一概念。辅助变量用来描述位于水平和速率之间的中间变量，它必位于水平变量和速率变量之间的信息通道上。

(4) 常量 (constant)。常量是指在所考虑的时间范围内变化甚微或相对不变化的系统参数。严格地说，绝对不变化的参数是不存在的，但对于那些变化甚微的参数，都可以视作常数予以处理。例如劳动生产率，虽然是变化的，但是在某种情况下仍可以把它视作常数。常量可以用直接或辅助的形式把信息输入到水平变量或速率变量。

水平变量、速率变量、辅助变量、常量又统称为内生变量。

(5) 外生变量。制约着内生变量，但又不受内生变量制约的变量称为外生变量。

1.2.3.2 系统方程式

建立方程是把模型结构“翻译”成数学方程式的过程，即把非正规的、概念的构思转换成正式的定量的数学表达式——规范模型的过程。建立方程的目的在于使模型能用计算机模拟（或得到解析解），以研究模型假设中隐含的动力学特性，并确定解决问题的方法与对策。

建立方程阶段远非仅仅是在有趣的构思与结果分析两个阶段之

间的技术插曲。正如前面曾叙述的,以因果关系图表示模型,其含义常常模糊不清。从为了更真切地描述客观事物的意义上说,规范模型要精确得多,它可借助计算机毫不含混地一步一步算出变量随时间的变化。另外,建立方程阶段所必需的精确性也迫使构模者清晰地去思维,从而加深对系统结构的了解。即使有了图形化界面的仿真工具,其中的参数设置仍然要用到方程的概念,故方程的建立仍然具有重要作用,是仿真建模的重要环节。

1.2.4 系统动力学模型的特点

系统动力学模型与其他模型方法相比,具有下列特点:

(1) 适用于处理长期性和周期性的问题。如自然界的生态平衡、人的生命周期和社会问题中的经济危机等都呈现周期性规律并需通过较长的历史阶段来观察,已有不少系统动力学模型对其机制做出了较为科学的解释。

(2) 适用于对数据不足的问题进行研究。建模中常常遇到数据不足或某些数据难于量化的问题(灰箱问题),系统动力学根据各要素间的因果关系及有限的数据及一定的结构仍可进行推算分析。

(3) 适用于处理精度要求不高的复杂的社会经济问题。一般来讲,复杂的大系统的常因描述方程是高阶非线性动态的,应用一般数学方法很难求解。系统动力学则借助于计算机及仿真技术,在无法求得精确解的情况下仍能获得主要信息。

(4) 强调有条件预测。本方法强调产生结果的条件,采用了“如果……则……”的形式,对预测未来提供了新的手段。

1.2.5 系统动力学建模原则^[8,9]

模型是描述现实系统的,因而它是源于实际、反映实际的。通过建立模型而达到抽象化,反映了人们对现实系统认识的深化,是认识的飞跃。建模是系统动力学方法中最为关键和困难的阶段,建立一个有效的模型应遵循下面一些基本原则: