

供应链

复杂系统资源流

建模与仿真

白世贞 王文利 著



科学出版社

www.sciencep.com

供应链复杂系统资源流 建模与仿真

白世贞 王文利 著

国家自然科学基金资助项目（项目编号：70471087）
国家科技支撑计划课题（课题编号：2006BAH02A06）

科学出版社

北京

内 容 简 介

复杂性科学不仅是系统科学的前沿,而且也是整个大科学的前沿,被誉为 21 世纪的科学。供应链是一类典型的复杂系统,本书分别将其定义为复杂适应系统、离散-连续混合系统和复杂网络三种类型,建立供应链系统主体复杂交互资源流的三层-回声模型、混合 Petri 网模型和小世界网络模型,并分别在 Swarm 平台、AnyLogic 平台和 Repast 平台上进行仿真,得到优化的资源配置方案和资源流动模式。

本书可供从事管理科学、复杂性科学的研究人员以及现代物流综合管理的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

供应链复杂系统资源流建模与仿真/白世贞,王文利著. —北京:
科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-020798-2

I. 供… II. ①白… ②王… III. ①物资供应-物资管理-系统建模②物资供应-物资管理-系统仿真 IV. F252

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 206416 号

责任编辑: 赖文华 任加林 / 责任校对: 柏连海
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)
2008 年 1 月第一次印刷 印张: 19 3/4
印数: 1—2 000 字数: 378 000

定价: 40.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026

序

复杂性科学不仅是系统科学研究的前沿，而且也是整个大科学研究的前沿，被誉为 21 世纪的科学。复杂性科学不仅仅从科学技术上指明了 21 世纪的发展方向，而且给我们提供了一种崭新的世界观。在复杂性科学的指导下，完美的、均衡的世界已经不存在，取而代之的是复杂性的增长和混沌边缘的繁荣；自上而下的分解分析方法已经不是主流，复杂性科学提供了一种自下而上的自然涌现方法；简单的数学推理方法已经不能很好地解决庞大的非线性系统面临的问题，复杂性科学开始运用计算机模拟来分析科学对象。

1984 年，三位诺贝尔奖获得者 Gell-Mann、Arrow、Anderson 为了开展对复杂性的跨学科、跨领域研究，联合了一批不同学科的科学家，在美国新墨西哥州成立了圣塔菲研究所（Santa Fe Institute, SFI）。SFI 的科学家先后运用自组织、混沌、涌现、复杂自适应系统这些概念来研究复杂性，而且很重视计算机技术在复杂系统演化过程中的仿真。

复杂性科学研究的复杂系统涉及的范围很广，包括自然、工程、生物、经济、管理、政治与社会等各个方面；它探索的复杂现象从一个细胞呈现出来的生命现象，到股票市场的涨落、城市交通的管理、自然灾害的预测乃至社会的兴衰等。目前，关于复杂性的研究受到世界各国科学家们的广泛关注。

供应链是围绕核心企业，通过对物流、资金流、信息流的控制，从采购原材料开始，制成中间产品以及最终产品，最后由销售网络把产品送到消费者手中的将供应商、制造商、分销商、零售商直到最终用户连成一个整体的功能网链结构模式。供应链不仅是复杂系统，而且也是复杂网络。供应链中除了包括物流、资金流和信息流之外，还应包括管理流、经营哲学流、市场流、人才流、技术流等其他资源流，正是这些所

有的资源流相互交织、相互影响,从而构成了异常复杂的有机资源流群,对该资源流群及其变化进行精确描述,调整与优化供应链资源结构,预测与控制供应链资源流的发展变化,保证供应链高效、稳定的运作具有非常重要的意义。

目前,对供应链复杂性的研究刚刚起步,究竟将供应链定义为什么样的复杂系统最适合,究竟用什么样的仿真方法研究供应链最恰当等诸多问题尚无定论。在《供应链复杂系统资源流建模与仿真》一书中,作者所在的研究团队,针对供应链运作的特点,分别将供应链定义为由具有自身目的与主动性的积极企业主体组成的复杂适应系统、由连续型物流和离散型信息流交互作用而形成的混合动态系统及多个上下游企业之间彼此交叉联系所形成的复杂网络,分别运用多 Agent 技术、混合 Petri 网和小世界模型对其进行建模,运用 Swarm 平台、AnyLogic 平台、Repast 平台对其进行仿真,通过对仿真结果的分析,探讨供应链中优化的资源配置方案和合理的资源流动模式。应该说,作者对由不同自治实体企业组成的供应链复杂系统资源流的各种特征考虑得比较全面,提出了比较新颖的研究方法,解决了供应、库存等一些实际问题。该书是前沿的科学研究方法运用于实际企业管理问题的一个典范,与目前已有的供应链管理、供应链建模等方面的书籍相比无疑是一种新的尝试。当然,供应链管理中还存在一系列复杂问题,还需要进一步开展更深入的研究。

目前不同学科的相互交叉、渗透和综合成为一种主要趋势,复杂性科学理论运用于社会、经济、管理领域,解决激烈的市场竞争中企业面临的种种问题同样也是一种趋势。在此,我向读者们推荐该著作,并希望更多的学者们投身到供应链复杂性研究领域中来,同时也希望作者所在的研究团队继续在这一研究领域进行开拓和创新。

上海物流研究院
复旦大学管理学院
朱建

前 言

进入 21 世纪以来，随着市场环境的变化，企业与企业之间的竞争逐渐转化为供应链与供应链之间的竞争，供应链管理成为增强企业竞争力最重要的方法之一，受到企业界的普遍关注。同时，供应链管理也成为学术界研究的一个热门领域。

供应链管理是目前国际上最引人瞩目的企业管理新思想之一，是一种系统化、集成化、敏捷化的先进管理模式。目前，供应链管理在美国、欧洲、日本等发达国家和地区的研究已越来越深入，应用也越来越广泛，许多国际著名的大企业如宝洁（P&G）、惠普（HP）、国际商用电器（IBM）等都已在供应链管理的实践中获得了巨大收益。然而，供应链系统自身所具有的耗散开放性、结构多样性、动态不确定性与多层次性、行为管理的不确定性与复杂性，加上供应链系统内成员为了敏捷地适应市场而在运行方式上选择的并行工程、柔性化生产、大批量定制、敏捷制造等现代化技术的多变性、多样性，以及供应链管理运作模式中所加入的各种制造、分销等缓冲区的不可控性等多层面、多因素的综合作用与交互影响；决定了供应链自身的复杂性。另外，社会、政治、经济、科技以及思维方式等种种外部因素的影响，导致许多人为的因素在系统运行中起决定性作用，于是必然会在深度和广度上增加系统的混乱度和不确定性，加剧系统的复杂性和操作难度，使供应链管理面临很大的困境。

复杂性科学为供应链管理复杂性研究提供了有效的方法，它是由物理、经济、管理、军事、政治、社会、理论生物、计算机、数学、哲学等科学综合而成的一门边缘学科。

作者从 2002 年开始，一直进行此方面的跟踪和研究，并于 2004 年申请了国家自然科学基金面上项目“基于主体建模的供应链复杂系统研究”。同时，作者于 2006 年参与了国家科技支撑计划课题“现代服务业

共性技术支撑体系与应用示范工程”项目的子课题：“现代物流综合管理关键技术与平台”的研究工作。在该课题中，我们将供应链定义为一种由多个相互独立的、作为利益主体的企业组成的呈现网状结构的组织，这种组织并不仅仅以资金为纽带，而且还有管理、技术、市场和知识等无形资源组合而成的复杂系统，通过基于主体建模方法和仿真技术来研究供应链复杂系统运行的规律，提出优化其运行的方案。通过研究，作者发现目前对供应链复杂系统的研究多局限于供应链系统复杂性的特征、原因以及局部性乃至全局性的解决方法，并未涉及全面、系统地研究供应链系统各子系统的复杂性。在供应链复杂性的建模与仿真方面，大多数学者将供应链看成是一个离散事件系统，将供应链系统中的变量抽象为离散出现的事件，研究多 Agent 之间离散交互事件的不确定性，也有学者将供应链系统作为复杂的非线性动力学系统，运用系统动力学等方法研究其要素之间的正负反馈。然而供应链系统既非完全离散的，也非完全连续的，以上两种建模和仿真方法都不能很好地反映系统的真实特性。我们必须从一种新的角度，用一种新的方法来研究、解决供应链中的一系列问题。

本书是国家自然科学基金和“十一五”国家科技支撑计划课题重点项目研究的部分成果，主要从资源流的角度，研究供应链复杂系统的组建与运营，运用多 Agent 技术、Petri 网技术、系统动力学方法对供应链多主体交互资源流所体现出来的复杂性进行建模与仿真，得出资源优化配置与合理流动的方案。本书把供应链复杂系统定义为复杂适应系统、离散-连续混合系统、复杂网络，分别运用多 Agent 技术、混合 Petri 网技术、小世界网络模型等对各类系统进行建模，分别运用 Swarm 平台、AnyLogic 平台、Repast 平台对其进行仿真，得出相应的结论。

本书共分 11 章。第 1 章为绪论部分；第 2 章介绍了复杂系统的概念及特征，重点介绍了复杂适应系统 (CAS) 的相关理论和多 Agent 的复杂系统建模方法，并用实例加以说明；第 3 章介绍了供应链复杂系统中的资源、资源环境、资源赋值、资源编码及资源分配模型；第 4 章介

绍了供应链节点企业 Agent 和部门 Sub-Agent 的内部模型；第 5 章建立了供应链主体复杂交互资源流的三层-回声模型；第 6 章在 Swarm 平台上对供应链三层-回声模型进行仿真，描述了资源流涌现的结果；第 7 章建立混合 Petri 网模型，验证了离散-连续联合建模方法的优点，得出使资源流达到最佳的供应链组建方案；第 8 章在 AnyLogic 平台上对供应链离散-连续混合系统资源流进行仿真；第 9 章分析了供应链的复杂网络特性；第 10 章在 Repast 平台上实现了对供应链复杂网络的仿真；第 11 章为结论，总结了本书的研究成果和创新点，并对未来研究进行了展望。

本书在撰写过程中得到东南大学系统工程研究所陈森发教授、赵林度教授、王海燕教授等的大力支持，他们对本书提出很多建设性的意见，在此深表感谢。哈尔滨商业大学物流学院郑小京老师对本书也有直接贡献，研究生张青华、韦艳丽、朱晓燕、刘宏宇等也为本书做了大量辅助性工作，作者亦表示感谢。本书借鉴和参考了国内外同行的现有成果及有益经验，并以参考文献形式一一标出，谨在此对相关学者表示诚挚的谢意。也有可能因为多方面的原因而有疏漏，若有这样的情况发生，作者表示万分歉意，并愿意在得知具体情况后予以纠正，在此先表示感谢。

一部好的专著是需要大量的研究成果来支撑的，尤其是关于跨学科研究方向的问题和前沿理论应用于当前热点领域的问题，撰写这样一部专著对作者来说是很有挑战性的，书中错漏之处在所难免，恳请各位读者批评指正。我们希望通过抛砖引玉，引起更多的人重视供应链复杂系统的研究。

哈尔滨商业大学物流学院院长

白世贞

2007 年 7 月 30 日

目 录

序

前言

1 绪论	1
1.1 研究的目的是和意义	1
1.2 供应链概述	3
1.2.1 供应链和供应链管理的基本概念	3
1.2.2 供应链管理实践中的问题及挑战	4
1.3 国内外研究现状	5
1.3.1 供应链复杂系统研究现状	5
1.3.2 供应链复杂系统仿真研究现状	7
1.3.3 供应链资源流研究现状	9
1.4 本书的主要内容和组织结构	11
1.4.1 本书的主要内容	11
1.4.2 本书的组织结构	12
2 复杂系统及其基于主体建模的理论	15
2.1 复杂系统的概念及特征	15
2.1.1 复杂系统的概念	15
2.1.2 复杂系统的特征	16
2.2 复杂适应系统及其理论	17
2.2.1 复杂适应系统的特点	17
2.2.2 复杂适应系统理论的基本内容	19
2.2.3 复杂适应系统理论的应用领域	24
2.2.4 复杂适应系统理论的进一步发展	26
2.3 涌现及其原因	27
2.3.1 涌现的内在机制	27
2.3.2 涌现的特征	28
2.3.3 涌现的意义	29

2.4	基于 Agent 的复杂系统分析	30
2.4.1	Agent 的基本涵义及其作用	30
2.4.2	面向 Agent 的复杂系统分析	33
2.4.3	Agent 类的演化	35
2.4.4	基于 Agent 模型的构建	38
2.4.5	供应链中 Agent 模型的举例	39
2.5	小结	50
3	供应链复杂系统资源及其赋值	52
3.1	供应链系统资源的描述	52
3.1.1	供应链资源的定义	52
3.1.2	供应链资源环境的描述	61
3.1.3	供应链资源价值评价的指导思想	63
3.2	可直接测量（显性）资源价值的确定	64
3.2.1	固定资源价值	64
3.2.2	流动资源价值	64
3.3	不可直接测量（隐性）资源价值的确定	65
3.3.1	不可直接测量（隐性）资源的特点	65
3.3.2	不可直接测量（隐性）资源向量的统计及赋值	66
3.3.3	不可直接测量（隐性）资源向量的综合评价及赋值	76
3.4	资源价值的整合	81
3.4.1	分类变量型价值转化为效用型变量价值的方法	81
3.4.2	显性资源和隐性资源价值的整合	85
3.4.3	供应链系统中资源价值的数值过滤	87
3.5	资源价值的编码方法	93
3.5.1	浮动编码方式	93
3.5.2	二进制编码方式	94
3.6	资源价值的赋予	97
3.6.1	资源多主体区室的建立	97
3.6.2	资源交互作用的随机数确定	97
3.7	资源分配模型	98
3.7.1	市场导向规划基本理论	98
3.7.2	市场导向规划方法	99

3.7.3	供应链市场导向规划主体定义	101
3.7.4	供应链市场导向规划算法	104
3.8	小结	105
4	供应链复杂系统主体资源流的内部模型	106
4.1	Agent 的抽象结构	106
4.1.1	纯反应式 Agent	107
4.1.2	感知 Agent	108
4.1.3	有状态的 Agent	108
4.2	供应链复杂系统中企业 Agent 资源流的内部模型	109
4.2.1	企业 Agent 资源流的赋值	109
4.2.2	企业 Agent 资源流内部模型的建立	111
4.2.3	企业 Agent 资源流内部模型的进化	112
4.2.4	供应链各企业 Agent 资源流内部模型要素分析	113
4.3	供应链复杂系统中部门 Sub-Agent 资源流的内部模型	114
4.3.1	各功能 Sub-Agent 资源流的内部模型	114
4.3.2	协调 Sub-Agent 资源流的内部模型	124
4.4	小结	128
5	供应链主体复杂交互资源流的离散建模	129
5.1	离散事件系统建模的基本概念	129
5.2	供应链系统成员相互作用的方式——新进化论假设	131
5.3	双层-回声模型	132
5.3.1	回声模型的七个子模型	132
5.3.2	匹配速率	136
5.4	供应链复杂适应系统特性的深层次分析	137
5.4.1	混沌理论	137
5.4.2	内耗及其原因	142
5.4.3	合法系统与影子系统理论	143
5.4.4	三层次决策理论	145
5.4.5	个人机制与共享机制理论	147
5.5	三层-回声模型	149
5.5.1	交叉复制子模型	149
5.5.2	创新能力子模型	150

5.5.3	匹配时间	152
5.6	小结	153
6	供应链复杂适应系统资源流的 Swarm 仿真	154
6.1	Swarm 仿真软件简介	154
6.1.1	Swarm 产生的背景	154
6.1.2	Swarm 的逻辑结构	155
6.1.3	Swarm 的类库	157
6.2	多 Agent 系统的概述	160
6.3	基于 Swarm 技术的供应链复杂系统 Agent 的确定	162
6.3.1	复杂系统中供应链类型的确定	163
6.3.2	基于 Swarm 技术的供应链复杂系统的层次结构——Sub-Agent	164
6.3.3	供应链复杂系统中各个 Sub-Agent 的相互作用以及与环境的作用	167
6.3.4	基于 Swarm 技术的供应链复杂系统的层次结构——Agent 与系统	169
6.4	各层次 Agent 相互作用的几个基本的假设	169
6.4.1	Agent 之间的博弈学习理论	170
6.4.2	Agent 之间决策方式——三层次决策悖论	171
6.5	Swarm 中 Agent 的属性和规则集的描述	172
6.5.1	Agent 的属性	172
6.5.2	Agent 的行为规则——供应链复杂适应系统的 GEF 和 LEF	174
6.6	仿真及结果分析	178
6.6.1	总体思路——Swarm 模拟过程中融合遗传算法的应用	178
6.6.2	模拟仿真结果	180
6.7	小结	183
7	供应链主体复杂交互资源流的离散-连续联合建模	185
7.1	供应链的混合特性	185
7.2	连续系统的建模方法	186
7.2.1	系统动力学的起源与发展	186
7.2.2	系统动力学的应用情况	187
7.2.3	系统动力学建模的原则	189
7.2.4	Vensim 软件简介	189
7.2.5	系统动力学在供应链中的应用	190
7.3	混合系统的建模方法	191

7.3.1	混合自动机 (HA)	192
7.3.2	时段演算及其扩充	192
7.3.3	编程语言模型	192
7.3.4	混合 Petri 网 (HPN)	193
7.4	供应链复杂系统资源流的 Petri 网建模	193
7.4.1	Petri 网的建模优势	193
7.4.2	供应链 Agent 内部模型的 Petri 网表示方法	194
7.5	供应链复杂系统资源流的混合 Petri 网建模	200
7.5.1	混合 Petri 网的基本概念	200
7.5.2	原材料和产成品资源流的混合 Petri 网模型建立	201
7.5.3	混合 Petri 网模型参数优化	204
7.5.4	两种仿真及结果的比较分析	205
7.6	供应链机器设备和运输工具资源流的混合 Petri 网模型	208
7.6.1	供应链混合 Petri 网资源冲突的化解	208
7.6.2	混合 Petri 网模型的优化	211
7.7	小结	213
8	供应链混合动态系统资源流的 AnyLogic 仿真	214
8.1	AnyLogic 仿真软件简介	214
8.1.1	AnyLogic 的建模语言	214
8.1.2	AnyLogic 的建模结构	215
8.1.3	AnyLogic 的建模技术	216
8.1.4	AnyLogic 的仿真框架	217
8.2	供应链仿真模型的框架	218
8.2.1	AnyLogic 平台上 Agent 的定义	218
8.2.2	Agent 携带的资源流	218
8.3	供应链系统中的不确定性	219
8.3.1	供应不确定性	219
8.3.2	运输不确定性	219
8.3.3	需求不确定性	220
8.4	供应链各阶段资源流的模拟仿真	221
8.4.1	供应阶段	221
8.4.2	运输阶段	226

8.4.3	销售阶段	233
8.5	小结	239
9	供应链主体复杂交互资源流的网络建模	241
9.1	复杂网络的基本概念	241
9.2	网络的统计特征	242
9.2.1	平均路径长度	242
9.2.2	聚类系数	242
9.2.3	度与度分布	243
9.3	常见的复杂网络模型	243
9.3.1	小世界网络模型	243
9.3.2	无标度网络模型	245
9.4	供应链组织的网络形态	247
9.4.1	供应链网络的结构特性	248
9.4.2	不同资源流动模式下供应链网络结构模型	249
9.4.3	不同资源管理模式下供应链网络结构	252
9.5	供应链网络的复杂性	255
9.5.1	供应链网络结构的复杂性	255
9.5.2	供应链网络的小世界特性	255
9.5.3	供应链网络的无标度特性	256
9.6	供应链复杂网络中资源流中断风险的控制	257
9.6.1	供应链资源流中断风险	257
9.6.2	复杂网络的脆弱性和鲁棒性	258
9.6.3	供应链资源流中断风险的控制	259
9.7	小结	262
10	供应链复杂网络资源流的 Repast 仿真	263
10.1	Repast 仿真软件简介	263
10.1.1	Repast 的设计思想	263
10.1.2	Repast 类库简介	265
10.1.3	Repast 仿真模型的结构	266
10.1.4	Repast 的离散事件调度机制	267
10.2	复杂网络的 Repast 仿真模型	268
10.2.1	建立网络模型	268

10.2.2	显示网络	271
10.2.3	输入和输出网络数据	273
10.2.4	时间序列机制	275
10.2.5	用户与模型的交互	277
10.2.6	建立主模型类	278
10.3	供应链复杂网络资源流的 Repast 仿真	280
10.3.1	基本假设	280
10.3.2	仿真模型	281
10.3.3	结果分析	282
10.4	小结	285
11	结论与展望	287
11.1	主要结论	287
11.2	主要创新点	289
11.3	研究与展望	290
	参考文献	292

1 绪 论

1.1 研究的目的是和意义

供应链管理 (supply chain management, SCM) 是目前国际上最引人瞩目的企业管理新思想之一, 是一种系统化、集成化、敏捷化的先进管理模式。SCM 概念是在 20 世纪 80 年代末由美国人提出的。近些年来, 由于国际市场竞争激烈, 信息技术的迅猛发展及市场需求个性化、快速化等因素的影响, SCM 理念得到迅速发展, 并显示出强大的生命力。供应链就是围绕核心企业, 通过对信息流、物流、资金流的控制, 从采购原材料开始, 制成中间产品以及最终产品, 最后由销售网络将产品送到消费者手中的将供应商、制造商、分销商、零售商, 直到最终用户连成一个整体的功能网链结构模式。克里斯托佛认为, 21 世纪企业间的竞争将转变为供应链之间的竞争。目前, SCM 在美国、欧洲、日本等发达国家和地区的研究已越来越深入, 应用也越来越广泛, 许多国际著名的大企业如宝洁 (P&G)、惠普 (HP)、国际商用电器 (IBM) 等都已 SCM 的实践中获得巨大收益。

供应链涉及供应商、制造商、分销商、零售商、消费者等各类实体及其相关的一系列业务活动, 呈现复杂的网络结构, 因此供应链是一类典型的复杂系统。运用多 Agent 技术和复杂性科学的相关知识来解决供应链的协调和优化问题成为供应链研究的发展趋势之一。

由于供应链系统自身所具有的耗散开放性、结构多样性、动态不确定性与多层次性、行为管理的不确定性与复杂性, 加上供应链系统内成员为了敏捷地适应市场而在运行方式上选择的并行工程、柔性化生产、大批量定制、敏捷制造等现代化技术的多变性、多样性, 以及供应链管理运作模式中所加入的各种制造、分销等缓冲区的不可控性等多层面、多因素的综合作用与交互影响, 决定了供应链自身的复杂性^[1]。另外, 由于社会、政治、经济、科技以及思维方式等种种外部因素的影响, 导致许多人为的因素在系统运行中起决定性作用, 那么必然会在深度和广度上增加系统的混乱度和不确定性, 加剧系统的复杂性和操作难度, 使供应链管理面临很大的困境, 也使供应链复杂系统的研究充满挑战性和创造性。用

传统的思维和方法所获得的成效非常有限，因此，运用新思想、新理论、新方法定义供应链复杂系统、分析供应链复杂性成因和对此供应链建模是供应链复杂性研究所面临的关键性问题。

复杂性科学为供应链管理复杂性研究提供了有效的方法，它是由物理、经济、管理、军事、政治、社会、理论生物、计算机、数学、哲学等科学综合而成的一门边缘学科^[2]。对复杂系统及其复杂性的研究有助于人们洞悉其发展规律及动因，以便更好地进行调控与发展，其研究与应用正向各个领域渗透。把该复杂系统定义为一个什么类型的系统是运用复杂性科学理论和基于主体的建模方法研究与解决供应链复杂系统问题中至关重要的一项内容。针对供应链管理组织的运行过程是按照“适者生存”的原则对众多的目标成员进行自然选择的结果，并且会随着产品、市场、人力等资源的变化而淘汰旧的、不符合要求的成员和（或）增加一些更加能够与组织要求相吻合的成员，所以供应链组织是一个动态的组织形式，它具有以下特点^[3]：①整个组织具有一个鲜明的基本目的——执行任务并且生存下去；②由大量的相互作用的行为主体构成；③与包含其他复杂系统的环境相互作用，并因此获得共同演化，具有很强的非线性（突现）；④发现，即通过反馈获取有关系统信息，包括运行环境方面的信息和与其他系统相互作用表现出来的行为结果方面的信息；⑤选择，即从其获得的反馈信息中辨识和选择有规律性的东西，并转化成为其正常或超常运行的模式或模型，从大量的“解释”这些规律的互斥模型中有效地选择一种，制定出处理外部环境事务的有效行为规则，并按照与环境有关的模式和规则行动；⑥观察其行为带来的各种反应以及这些反应所产生的结果，根据这些信息调整自己的行为，并修订模式以便更好地适应环境，即进行复杂学习或双循环学习；⑦整个组织内部成员可以拥有自己独特的个体模式，还可以受到共享模式的制约；⑧模式包括简单反应规则、制定预期目标和预先采取的复杂行动规则和自身评价规则。以上各种特征正好与复杂适应系统（complex adaptive system, CAS）的特点相吻合，所以本书首先将供应链系统规定为复杂适应系统。然而，供应链系统还具有如下特性：①系统中存在性质不同的连续和离散两类变量；②时间和事件共同驱动系统的状态演化；③连续变量穿越阈值使状态使能或失能；④离散状态的变化改变连续变量遵循的变化速率；⑤离散事件发生在离散时刻，具有顺序、选择、并发等特色；⑥状态呈阶段性、间歇性跳跃变化，动态特性显著；⑦对系统的控制表现为对连续状态和离散状态的集成控制；⑧对系统的优化表现为在定性/定量双重指标下的集成优化。与混合动态系统的特性相吻合，所以本书又将供应链系统规定为混合动态系统。同时，供应链还是复