

FUZA GONGYINGLIAN XITONG DONGLIXUE
JIQI HUNHE JIANMO FANGZHEN YANJIU

复杂供应链系统动力学及其 混合建模仿真研究

王雯 傅卫平 著

陕西出版集团
陕西科学技术出版社

国家自然科学基金(11072192)资助

复杂供应链系统动力学及其 混合建模仿真研究

王 雯 傅卫平 著

陕 西 出 版 集 团
陕西科学技术出版社

内 容 简 介

本书是关于复杂供应链系统的混合建模仿真及动力学机理研究的一部专著,系统介绍了复杂供应链系统的建模仿真及动力学行为机理研究的成果。

书中构建了一个统一的供应链系统复杂动力学建模、仿真和分析的研究框架;针对更典型的一类基于预测的、面向库存的和适于批量生产的离散型制造业供应链的特点,假设供应链是4层链式结构,而制造商的生产能力是有限的并且订货参数可变,建立了由高维差分方程表示的供应链系统动力学模型中,提出了针对生产能力有限的柔性和非柔性的能力调整策略以及针对订货参数可变的强化学习策略。研究了包括混沌在内的复杂动力学行为模式及其机理以及5个因素对系统动力学行为的影响规律。在此基础上提出了着色赋时混合 Petri 网(Colored timed hybrid Petri net, CTHPN)的概念和形式化描述,并建立了一个汽车产品的精敏型供应链系统 CTHPN 模型,模型中采用连续库所、变迁及离散库所、变迁,着色分别描述不同的业务活动,以反映供应链结构的动态变化。最后建立了复杂供应链系统的 SD/DES/ABM 逻辑模型、仿真模型及仿真平台。通过对混合仿真模型的仿真,研究了多层次时空非线性相互作用,全面、准确地揭示复杂供应链系统的动力学行为与结构演化机理,为今后复杂供应链的研究提供科学依据。

本书可供从事机械科学、管理科学、数理科学、系统科学研究的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂供应链系统动力学及其混合建模仿真研究/王
雯,傅卫平著. —西安:陕西科学技术出版社,2011.5

ISBN 978-7-5369-5043-6

I. ①复… II. ①王… ②傅… III. ①供应链—系统动态
学 ②供应链—系统建模 ③供应链—系统仿真 IV. ①F252

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 061537 号

出 版 者	陕西出版集团 陕西科学技术出版社 西安北大街 147 号 邮编 710003 电话(029)87211894 传真(029)87218236 http://www.snstp.com
发 行 者	陕西出版集团 陕西科学技术出版社 电话(029)87212206 87260001
印 刷	西安西法大印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本
印 张	14.25
字 数	280 千字
版 次	2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷
定 价	36.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

由于市场竞争环境日趋动荡激烈以及面临全球金融危机的剧烈冲击,现代企业更加依赖于将有效而科学的供应链管理作为获得持久竞争力的方式,以适应环境动力学。为了更好地设计和管理供应链,必须全面掌握供应链系统的动力学行为及其演化规律,而建模仿真则是研究供应链这种复杂系统的最有效的途径。供应链是一种具有本质非线性的复杂适应系统,即便其简化模型,在确定性输入下也可以表现出复杂的动力学行为模式,而为了准确揭示更为复杂的供应链系统的动力学机理,需要研究更有效的建模仿真方法。本书围绕复杂供应链系统的建模仿真和复杂动力学机理的分析展开研究。

在现有文献中,供应链系统的建模仿真和复杂动力学机理研究往往是分开的,而且供应链作为复杂适应系统和作为非线性动力学系统的研究也常常是分开的。本书从系统科学、非线性科学和复杂性科学融合的角度,在对大量文献进行分析归纳的基础上,构建了一个统一的供应链系统复杂动力学建模、仿真和分析的研究框架;同时,根据复杂供应链系统的特点以及系统动力学(System dynamics, SD)、离散事件仿真(Discrete event simulation, DES)和基于 Agent 建模(Agent-based modeling, ABM)方法的特点,提出了基于 SD/DES/ABM 的供应链系统混合建模仿真的必要性论证以及混合建模的框架。这种统一建模仿真分析思想和框架有助于更有效地研究复杂供应链系统的动力学机理。

最早的供应链动力学研究源自啤酒生产分销系统模型(啤酒游戏)中的需求放大现象(牛鞭效应),而最近 20 年的研究则揭示了 this 最简单的典型供应链系统模型由于固有非线性而产生的复杂动力学行为模式。本书针对更典型的一类基于预测的、面向库存的和适于批量生产的离散型制造业供应链的特点,采用与传统啤酒生产分销系统模型不同的结构和模型假设,即供应链为由供应商、制造商、分销商和零售商组成的 4 层链式结构,而制造商的生产能力是有限的,并且其订货参数是动态可变的。为此,在所建立的由高维差分方程表示的供应链系统动力学模型中,除了传统的订货行为策略外,提出了针对生产能力有限的柔性和非柔性的能力调整策略以及针对订货参数可变的强化学习策略。在此基础上,采用时间历程曲线、相空间轨迹、功率谱、分岔图、Poincaré 映射以及最大 Lyapunov 指数方法,定性和定量地研究了系统的包括混沌在内的复杂动力学行

为模式及其机理,研究了供应链的需求模式、初始条件、提前期、行为策略、信息共享等因素对系统动力学行为的影响规律。研究表明:当决策参数 α_i 和 α_{sl} 变化时,系统可以表现出稳定、倍周期以至混沌的行为模式;各节点的订货策略及其组合方式、提前期和学习策略是影响非线性动力学行为模式分布与成本分布的主要因素,需求模式、信息共享方式以及生产策略等是影响分布的次要因素。

全球竞争和快速变化的客户需求迫使生产方式和制造组织结构发生重要的变化。单独采用精益或敏捷策略的供应链不能适应大规模定制生产环境,需要将二者有机组合起来,构成精敏型供应链。根据精敏型供应链系统的特点,可以将其看成是连续与离散变量混合的、结构可变的动态系统。基于上述假设,本书提出了着色赋时混合 Petri 网(Colored timed hybrid Petri net, CTHPN)的概念和形式化描述,并建立了一个汽车产品的精敏型供应链系统 CTHPN 模型,模型中采用连续库所和连续变迁表示通用件的生产活动和库存,通用件的其他活动和差异件的所有活动采用离散库所和离散变迁表达;采用着色的库所、变迁和有向弧描述不同供应商、分销商对不同产品订单的处理过程和状态,以反映供应链结构的动态变化。研究表明:基于 CTHPN 的连续离散混合模型比纯离散 Petri 网模型能更有效描述精敏型供应链系统,精敏型供应链系统可以表现出非线性动力学复杂行为特征以及“牛鞭效应”甚至“反牛鞭效应”,订货与库存控制策略和参数、需求模式、结构重组是影响各节点订单和库存响应以及各节点和精敏型供应链平均每周期总成本的主要因素。

与上述简单供应链和精敏型供应链模型不同,复杂供应链系统具有跨越不同尺度的多层次时空结构、具有不同时空层次内部及之间的非线性相互作用。单独采用一种建模方法,单从某一层次或某一尺度建模,无法描述多层次时空非线性相互作用,因而无法全面、准确地揭示复杂供应链系统的动力学行为与结构演化机理。因此,在本书提出的 SD/DES/ABM 混合建模框架基础上,建立了一个复杂供应链系统的 SD/DES/ABM 逻辑模型和仿真模型,模型中企业层主要采用 ABM 构建,业务层主要采用 ABM 和 SD 描述,而操作层采用 DES 描述。采用混合仿真软件集成技术,构建了 SD/DES/ABM 混合仿真平台;通过对混合仿真模型的仿真,研究了复杂供应链系统的动力学演化机理和规律。研究表明:除了需求模式和订货策略外,库存策略、销售策略、生产策略以及供应链环境变化是影响供应链平均每周期总成本的主要因素;供应链可能存在某个多赢或共赢的状态组合,但只有处于共赢状态的供应链整体性能是相对稳定的。

本书的研究工作来自国家自然科学基金“基于混合建模仿真的供应链网络系统的复杂动力学行为及涌现机理研究”(项目编号:11072192)、陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目“敏捷供应链系统非线性动力学建模与分析”(项目编

号: SJ08A32) ”、陕西省教育厅专项科研计划资助项目“精敏供应链系统复杂动态行为机理研究(项目编号: 09JK661) ”。

本书分7章, 全面介绍了复杂供应链系统的建模仿真及动力学行为机理研究的成果。第1章主要阐述了研究问题的背景及意义; 第2章阐述了国内外研究现状; 第3章阐述了供应链系统复杂动力学研究的基本理论方法和建模框架; 第4章对离散型制造业供应链系统的复杂动力学进行建模与仿真分析; 第5章对精敏型供应链系统的复杂动力学进行建模仿真与分析; 第6章研究了基于SD/DES/ABM混合建模的复杂供应链系统的动力学问题; 第7章为结论, 对全书的研究内容进行总结。

本书由王雯、傅卫平著, 张昌续硕士、余晓峰硕士、郑辉硕士、郝良硕士、王更生硕士解决了不少技术难题, 解建仓教授、闵涛教授、张永进教授提出了宝贵的修改意见。本书撰写过程中, 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, 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。

本书只是作者在供应链复杂系统领域研究的初步探索成果。由于作者水平有限, 书中难免有不妥和差错, 敬请广大读者批评指正。

王 雯 傅卫平
2011年6月于西安

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 研究背景及意义	(1)
1.2 目前研究存在的主要问题	(3)
1.3 研究的主要内容及研究目的	(5)
1.4 研究思路与结构安排	(6)
第2章 供应链系统动力学和复杂性问题及其研究现状分析	(9)
2.1 引言	(9)
2.2 供应链系统动力学和复杂性的相关要素	(10)
2.2.1 供应链系统的结构	(10)
2.2.2 供应链系统的内部与外部相互作用	(11)
2.2.3 供应链系统的决策机制	(12)
2.3 供应链系统的动力学和复杂性的若干基本问题	(13)
2.3.1 供应链系统的动态性问题	(13)
2.3.2 供应链系统的稳定性问题	(16)
2.3.3 供应链系统的非线性问题	(17)
2.3.4 供应链系统的复杂性问题	(20)
2.4 供应链系统的动力学与复杂性问题研究的基本理论方法	(24)
2.4.1 研究供应链系统的动力学与复杂性问题的建模仿真理论方法	(25)
2.4.2 研究供应链系统的动力学与复杂性问题的分析方法	(35)
2.5 本章小结	(37)
第3章 供应链系统复杂动力学研究的基本理论方法和建模框架	(39)
3.1 引言	(39)
3.2 非线性动力学基本理论	(39)
3.2.1 非线性动力系统的一般概念	(39)
3.2.2 混沌及其判别	(41)
3.2.3 相空间重构与 Lyapunov 指数计算	(44)
3.3 复杂适应系统基本理论	(46)
3.3.1 CAS 的特点	(47)

3.3.2	CAS 理论的基本内容	(47)
3.3.3	涌现的特征与机制	(49)
3.4	复杂供应链系统的建模仿真方法	(50)
3.4.1	基于 SD 的 EBM 建模方法	(50)
3.4.2	基于 Petri 网的 DES 建模方法	(53)
3.4.3	基于 Agent 的建模方法	(55)
3.5	复杂供应链系统的概念模型与混合建模的必要性	(58)
3.5.1	供应链的概念及结构模式	(58)
3.5.2	复杂供应链系统的概念模型	(59)
3.5.3	复杂供应链系统的主要特点	(61)
3.5.4	复杂供应链系统混合建模的必要性	(62)
3.5.5	复杂供应链系统混合建模的基本框架	(63)
3.6	本章小结	(64)
第 4 章	离散型制造业供应链系统的复杂动力学建模仿真分析	(66)
4.1	引言	(66)
4.2	供应链系统的运行机制、行为策略与动力学模型	(68)
4.2.1	供应链系统的结构与运行机制	(68)
4.2.2	各节点实体的行为策略	(69)
4.2.3	离散型制造业供应链系统的动力学模型	(75)
4.3	供应链系统动力学仿真的实现	(79)
4.3.1	仿真程序框图	(79)
4.3.2	仿真变量、参数和影响因素	(79)
4.4	供应链系统的复杂动力学行为及其影响因素分析	(83)
4.4.1	非线性动力学行为分析	(83)
4.4.2	影响因素及影响规律的研究	(95)
4.4.3	影响因素的综合评价及其对供应链管理的启示	(112)
4.5	本章小结	(113)
第 5 章	精敏型供应链系统的复杂动力学建模仿真分析	(115)
5.1	引言	(115)
5.2	精敏型供应链系统的运作策略、结构和运行机制	(117)
5.2.1	供应链的单一运作策略	(117)
5.2.2	精敏供应链的运作策略与结构	(118)
5.2.3	精敏型供应链的运行机制与行为策略	(121)
5.3	着色赋时混合 Petri 网定义与精敏型供应链系统模型	(122)

5.3.1 着色赋时混合 Petri 网定义	(123)
5.3.2 基于 CHTPN 的精敏型供应链系统建模	(124)
5.4 基于 CHTPN 的精敏型供应链模型仿真分析	(130)
5.4.1 纯离散 Petri 网模型与 CHTPN 模型仿真的比较	(130)
5.4.2 CHTPN 模型非线性动力学行为仿真分析	(131)
5.4.3 影响因素及影响规律研究	(132)
5.4.4 影响因素的综合评价及其对精敏型供应链管理的启示	(140)
5.5 本章小结	(141)
第 6 章 基于 SD/DES/ABM 混合建模的复杂供应链系统的动力学研究	(142)
6.1 引言	(142)
6.2 基于 SD/DES/ABM 的复杂供应链系统的混合建模	(144)
6.2.1 基于 SD/DES/ABM 的复杂供应链系统的逻辑模型	(144)
6.2.2 逻辑模型的主要子模型	(147)
6.3 实现 SD/DES/ABM 混合仿真的关键技术及混合仿真模型	(155)
6.3.1 SD/DES/ABM 混合仿真平台中各单项平台的选择	(156)
6.3.2 SD/DES/ABM 混合仿真平台的构建	(158)
6.3.3 SD/DES/ABM 混合仿真平台的软件集成	(159)
6.3.4 SD/DES/ABM 混合仿真模型及其开发环境	(161)
6.4 基于 SD/DES/ABM 的复杂供应链系统动力学仿真分析	(163)
6.4.1 复杂供应链系统动力学仿真	(163)
6.4.2 影响因素及影响规律研究	(166)
6.4.3 影响因素的综合评价及其对复杂供应链管理的启示	(189)
6.5 本章小结	(190)
第 7 章 结论与展望	(191)
7.1 主要结论和创新性贡献	(191)
7.1.1 主要结论	(191)
7.1.2 创新性贡献	(192)
7.2 研究局限和研究展望	(194)
7.2.1 研究局限	(194)
7.2.2 研究展望	(194)
参考文献	(197)

第 1 章 绪 论

20 世纪 90 年代以来,企业面临着日趋激烈的市场竞争和日益多变的动态环境。竞争已不再只是企业之间,而正在变成供应链之间的竞争^[1]。为了适应这种巨大挑战,企业通过供应链方式获得竞争力已成为全球性的发展趋势。21 世纪正在成为供应链之间竞争的世纪。

由于供应链系统的动态性和复杂性对系统性能的影响日趋明显,供应链系统的动力学和复杂性正在成为供应链设计、分析、重组、优化和管理研究的一个热点。已经有许多学者从不同角度、采用不同方法对供应链系统的动力学和复杂性进行了研究,但都存在一定的局限性。本书重点研究供应链系统的混合建模仿真与复杂动力学机理问题,试图发现影响供应链系统复杂动力学行为的因素和影响规律,从而探索有效设计、管理供应链系统的途径,并为增强供应链适应性和持久竞争力提供理论依据。

1.1 研究背景及意义

20 世纪上半叶,企业为了在竞争中赢得主动,通过控制所有权消除与供应商和/或销售商的对立,加强对原材料供应、产品制造、分销和销售全过程的控制。在这种纵向一体化管理模式,核心企业和上下游配套企业之间是所有权的关系。纵向一体化管理模式在市场环境相对稳定的条件下是非常有效的。

20 世纪 80 年代以来,随着科学技术不断进步和经济的不断发展以及全球化信息网络和全球化市场形成的加速,市场环境发生了巨大变化。顾客需求趋于多样化、个性化,不确定性增加,产品的生命周期越来越短,企业面临的是一个变化迅速且难以预测的买方市场。同时,经济全球化趋势日益明显,更增加了企业竞争的难度,使纵向一体化管理模式暴露出企业对市场反应过慢、核心竞争力不突出、企业行业风险加大等许多缺陷。为了适应竞争环境的变化,人们开始将目光从企业内部生产过程转向整个产品生命周期不同过程的结合部以挖掘新的利润增长点,并开始关注核心能力,摒弃那种从设计、制造直到销售都自己负责的纵向一体化经营模式,把有限的资源放在最擅长的核心业务上,而将非核心业务委托或外包给具有专长的合作企业。核心企业在全球范围内与供应商和销售商建立横向合作伙伴关系,利用外部资源缩短新产品开发周期和定制化产品交

货周期,快速响应市场的多样化需求,避免丧失市场机会的风险和投资负担,形成优势互补的供应链。供应链联系着最终的客户和最初的供应商,通过客户需求把供应商的供应商、企业的供应商、企业自身、企业的直接客户和客户的客户贯穿成一个价值链。而供应链管理正是通过各种新方法、新技术的运用,对价值链上的各个环节进行管理,达到降低成本、提高效率、增加顾客满意度并最终提高企业竞争力的目的。正是在这种背景下,供应链成为 20 世纪 90 年代以来研究实践的热点,而纵向一体化管理模式开始逐渐被供应链管理这种更适应复杂动态竞争环境的横向一体化管理模式所取代。

市场环境的根本性变化导致了企业组织结构、运行机制和管理方式从纵向一体化模式向横向一体化模式转变,从结构形式单一和静态的、所有权集中控制的、以集中决策为主的纵向一体化组织转变为结构形式复杂而动态变化的、所有权分布控制的、各实体自主决策的横向一体化组织——供应链系统或供应链网络系统。供应链系统是一个围绕核心制造企业、由许多目标相互关联和相互冲突的成员和组织构成的、具有不同实体(供应商、制造商、分销商、零售商及客户等)、过程(采购、生产、存储、运输、销售等)和资源(物流、信息流、资金流等)之间的大量相互作用和相互依赖的复杂网络。这个网络是高度非线性的,表现出复杂的多层次行为,具有跨越不同尺度的结构,通过其结构和功能的复杂相互作用而演化和自组织^[2]。供应链系统的极其复杂性由于不可避免地缺少预测而使得其难于管理和控制。尽管人们认为、并且也被人们的实践所部分证实了,供应链及其管理这种横向一体化模式比纵向一体化模式更具有适应动态复杂环境的特点,但是,人们对这种组织形式、运行机制和管理方式都较以往发生显著变化的供应链系统的认识还是远远不够的。尽管供应链及其管理的实践与理论已经经历了约 20 年的历程,但是人们至今还无法确切地、定量地把握组织形式、运行机制、决策方式和管理策略等方面的变化,特别是外界环境的变化会对供应链系统带来怎样的影响,以至于许多已经实行供应链管理战略的企业尚无法真正面对复杂的动态环境。

20 世纪 90 年代以来,全球制造企业面临着日趋激烈的市场竞争和日益多变的动态环境。特别是 2007 年爆发的美国次贷危机产生的“蝴蝶效应”已经演变成后来席卷全球的金融海啸,百年一遇的世界范围的金融危机对各国实体经济产生了重大的不利影响,导致主要发达国家的经济衰退和世界经济增长放缓。全球制造业经历了一场疾风骤雨般的多重压力,这些压力对整个产业链条里的任何一个部分都产生了巨大的影响。一些世界著名的制造企业及其零部件供应商经历了大规模重组或者处于巨额亏损的境地,甚至濒临破产,而相当数量的中小制造企业则纷纷停产或倒闭。愈演愈烈的复杂动荡环境更加剧了制造企业的

市场竞争,供应链管理的难度、风险和成本显著增大。尽管世界经济至今已开始显现复苏迹象,但进入“后危机时代”的世界经济能否走出危机的阴影还充满不确定性。因此,如何应对这种复杂动态环境而保持持久的竞争力,是21世纪的全球制造业特别是中国制造业所面临的严峻挑战,同时,也是对供应链系统的动力学与复杂性研究提出的重大课题。

从20世纪60年代初 Forrester^[3] 最早建立系统动力学模型研究供应链系统的“牛鞭效应”(Bullwhip effect, BE)^[4],到80年代末 Mosekilde^[5] 和 Sterman^[6] 首次发现和研究供应链系统中的混沌(Chaos)现象,再到本世纪初 Choi 等人^[7] 率先用复杂适应系统(Complex adaptive system, CAS)观点定性地描述供应链网络系统的复杂适应性,人们对供应链系统的动力学与复杂性的认识和研究不断地深入。但是,这些理论研究的模型还比较简单,离实际供应链系统尚有很大差距;研究的方法还比较单一,不能全面揭示供应链系统的复杂动力学机理;研究的内容还比较片面,没有把具有相互联系的问题综合起来进行研究。供应链管理的理论与实践都迫切要求对供应链系统的动力学与复杂性开展更深入、更系统和更有效的理论研究。

供应链系统与其环境构成了复杂的、动态的协同演化系统。由于成本、周期、协调以及风险等因素,很难甚至不可能直接从实践角度对其进行大量的实验性研究;而目前关于供应链系统动力学与复杂性的理论研究还不足以对供应链管理的实践提供定量的、可靠的和有价值的理论依据。因此,探索能够描述实际供应链系统动力学与复杂性特征的建模方法、仿真方法和分析方法,定量地、全面地揭示供应链系统的复杂动力学机理,不但有助于从理论上进一步丰富和深化供应链系统的动力学与复杂性研究,而且有益于从实践上寻求构建和管理供应链、提高核心制造企业及其供应链系统竞争力的有效途径和策略。

1.2 目前研究存在的主要问题

从 Forrester^[3, 8] 关于供应链系统动力学问题的开创性研究至今已有半个世纪。此后,有关供应链系统的动力学和复杂性研究的文献不断涌现,特别是近20多年来,该领域的研究广度和深度有了明显的发展,各种定性或定量研究的理论、方法以及应用实例层出不穷。但是,专门的供应链管理文献综述^[9] 一般很少涉及供应链系统的动力学和复杂性问题;文献[9]至文献[17]虽从不同的角度和侧重点对供应链系统的动力学或复杂性的有关问题进行了综合性的分析评述,但这些文献一般都局限于某个特定领域问题的研究。相当多的研究侧重于定性分析或简化模型,而且不同领域的学者一般采用不同的建模仿真理论和方法。从供应链系统的动力学和复杂性问题研究的角度,目前该领域研究存在

以下几方面的问题:

1. 供应链系统的复杂动力学行为研究

在供应链系统动力学问题研究中广泛使用的经典模型就是“啤酒游戏”^[3] (Beer game)模型,它是一种典型的由客户、零售商、批发商、分销商和制造商组成的生产—分销系统的角色扮演仿真,它提供了研究人类决策行为的实验室模拟环境^[18]。这种生产—分销系统在订货或库存决策过程中,将产生大量复杂的非线性动态行为,包括周期、准周期、混沌、超混沌运动等现象^[5-6, 19-20]。尽管已有研究已经揭示出简单的链式供应链系统在确定性输入条件下可以产生复杂动力学行为,但是,由于研究对象大都是基于“啤酒游戏”模型甚至更简化的模型,一般都假定供应链成员采用自动订货策略,一旦确定订货参数,管理人员不再人为干预,并且在整个仿真过程中订货参数不能改变;同时,假设制造商生产能力无限也不尽合理,而且大多只考虑供应链节点之间的信息流和物流相互作用,不涉及供应链与外部环境的相互作用,距离实际的供应链偏差很大。

2. 供应链作为 CAS 的非线性动力学研究

Choi^[7]提出的将供应链网络作为 CAS 的观点,为建立更接近于实际供应链系统管理特点的模型提供了新的框架,但仍属于定性分析。Surana^[2]提出如何应用 CAS 领域的理论进展对这些供应链网络问题进行系统化和定量化研究,认为 CAS 研究中发展起来的理论方法为供应链的设计、建模和分析提供了充分的潜力。Pathak^[17]借助 Choi 和 Surana 提出的复杂适应供应网络概念,构建了一个既综合现有研究工作又发展供应链管理的新理论的基础框架。然而,目前尚未从 CAS 理论角度研究供应链系统的非线性动力学,并且缺少定量描述分析供应链系统的复杂动态行为与结构及其涌现机理,对供应链系统的复杂行为的研究大多为定性分析,因而不能定量地揭示供应链这种 CAS 的非线性行为动力学机理和规律。

3. 供应链系统的动力学建模仿真

供应链系统是一个具有多层次决策、连续与离散状态混合且结构动态改变等特点的 CAS,也是一个多智能体系统(Multi-agent system, MAS)。要研究其复杂动力学行为和涌现机理,需要建立适应其特点的仿真模型。以往的供应链系统非线性动力学研究一般都是基于类似“啤酒游戏”一类的简单的串式供应链模型。这类简单串式供应链模型一般采用解析的差分模型,需要基于一些不切实际的假设,因而只适于作纯理论研究。为了反映实际的复杂供应链及其内部结构和运行模式,一般采用系统动力学(System dynamics, SD)、离散事件仿真(Discrete event simulation, DES)和基于 Agent 建模(Agent-based modeling, ABM)的方法。SD 适于连续动态系统建模,DES 适于离散事件系统建模,ABM

适于变结构系统建模。由于单独使用上述3种方法的某一种来建模都只能部分反映供应链系统的特点,因此,需要考虑将几种方法结合起来应用于供应链系统的混合建模仿真^[16]。但是,已有的混合建模仿真方法还不能全面反映供应链系统的特点,只适于描述供应链在某个层次上的特征,特别是很少考虑供应链系统与外部环境的相互作用、供应链节点内部单元的相互作用以及这2种相互作用同时存在的情况,并且也未涉及非线性动力学复杂行为和涌现机理研究。

人们虽然已经通过“啤酒游戏”揭示了确定性混沌存在的可能性和控制这种混沌的策略,从而为人们管理和控制供应链系统的复杂动态行为提供了一部分理论依据。然而,已有的研究毕竟只是建立在相对简单的供应链系统结构和运作模型基础上,不能完整确切地表达供应链系统的多层次决策、连续离散混合、结构动态可变等特点,对供应链系统的自组织、涌现、混沌边缘等复杂行为动力学机理也缺少深入系统的定量研究。因此,如何从CAS的观点来定量描述分析供应链系统的复杂动力学行为与结构及其自组织涌现机理,进而解决当今供应链系统理论与实践所面临的重大课题,对于供应链系统动力学与复杂性研究的学者是一个新的巨大挑战。

1.3 研究的主要内容及研究目的

根据以上存在的问题,结合供应链系统动力学和复杂性研究领域的发展趋势以及当今社会对该领域研究的迫切需求,研究内容主要围绕以下问题展开。

1. 面向库存的离散型制造业供应链系统的复杂动力学行为及其影响因素

传统的啤酒分销模型作为典型的流程型制造业的供应链模型已被广泛用于研究其复杂非线性动力学行为,但其中最高的供应链节点为制造商,而且认为制造商的生产能力为无限大,订货参数为常数。本书针对由供应商、制造商、分销商、零售商构成的、面向库存的离散型制造业供应链系统,考虑制造商的生产能力和学习能力,研究该系统的复杂动力学行为以及各种影响因素的作用。

2. 精敏型供应链系统的复杂动力学行为及其影响因素

精敏型供应链是一类常见的面向订单(Make-to-order, MTO)与面向库存(Make-to-stock, MTS)模式混合的离散型制造业的供应链系统。该系统具有连续与离散状态混合且结构动态改变等特点,需要采用特殊的建模方法;同时,这类系统的动力学尚未被研究过,需要研究该系统的复杂动力学行为以及各种影响因素的作用。

3. 基于SD、DES和ABM的复杂供应链系统混合建模与动力学仿真分析

已有的混合建模仿真方法一般都是采用2种方法集成,不能反映复杂供应链系统中不同决策层次所具有的连续与离散状态混合且结构动态改变的特征。

本研究利用 SD、DES 和 ABM 各自的特点,建立 SD、DES 和 ABM 无缝集成的供应链系统混合动态模型,并在此基础上仿真研究复杂供应链系统的动力学行为以及各种影响因素的作用。

研究上述问题的主要目的是:通过建模研究寻求能更全面、更真实地反映实际供应链特点的组织结构、运行机制、决策方法、相互作用以及外部环境的描述方法;通过建模仿真分析探索复杂供应链系统的动力学行为和结构演化规律。在此基础上,发现影响供应链系统动力学规律的控制因素以及改善供应链系统适应性和竞争性的途径,从而为构建和管理供应链、提高核心制造企业及其供应链系统竞争力提供理论依据。

1.4 研究思路与结构安排

供应链的组织结构、运行机制、决策方法、相互作用以及外部环境十分复杂,要定量地掌握这类复杂系统的动力学规律和机理,无论从实证研究还是建模研究来讲都十分困难。实证研究虽然依据实际供应链的具体运行状况进行分析,但是由于成本、周期、协调以及风险等因素,不可能进行大规模的、遍历性的方案实验以获取优化的结果,只能针对特定情形。解析建模与分析是一种基于许多假设和简化的纯理论的研究方法,虽然具有低成本、无风险、可遍历的特点,但所得到的结果和结论往往与实际情况相差较大,而且可能由于过于简化而掩盖了一些关键问题和本质现象。因此,本书采用仿真建模和定性分析与定量分析结合的研究方法。当然,并不企图仅通过本书的研究分析就能实现与实际供应链及其动力学规律一一对应,这是一个需要反复探索、逐步逼近的过程。

为了有效地开展对上述问题的研究,以达到本书的研究目的,提出图 1-1 所示的研究思路。

本书共分以下 3 个部分。

第 1 部分:背景与框架。这一部分包括第 1 章至第 3 章。

第 1 章绪论阐述本书的研究背景与意义,指出目前研究中存在的问题,提出本书要研究的主要问题及目的,最后介绍本书的总体研究思路。

第 2 章对国内外关于供应链系统动力学与复杂性问题的研究文献进行系统性的分析和归纳,提出供应链系统动力学与复杂性问题研究的基本框架。

第 3 章根据一般的非线性动力学理论、复杂适应系统理论和复杂系统建模理论,结合供应链系统的特点,论述供应链系统复杂动力学研究的基本理论与基本建模方法,重点阐明复杂供应链系统混合建模的必要性,提出复杂供应链系统混合建模的基本框架。

第 2 部分:建模与仿真。这一部分包括第 4 章至第 6 章。

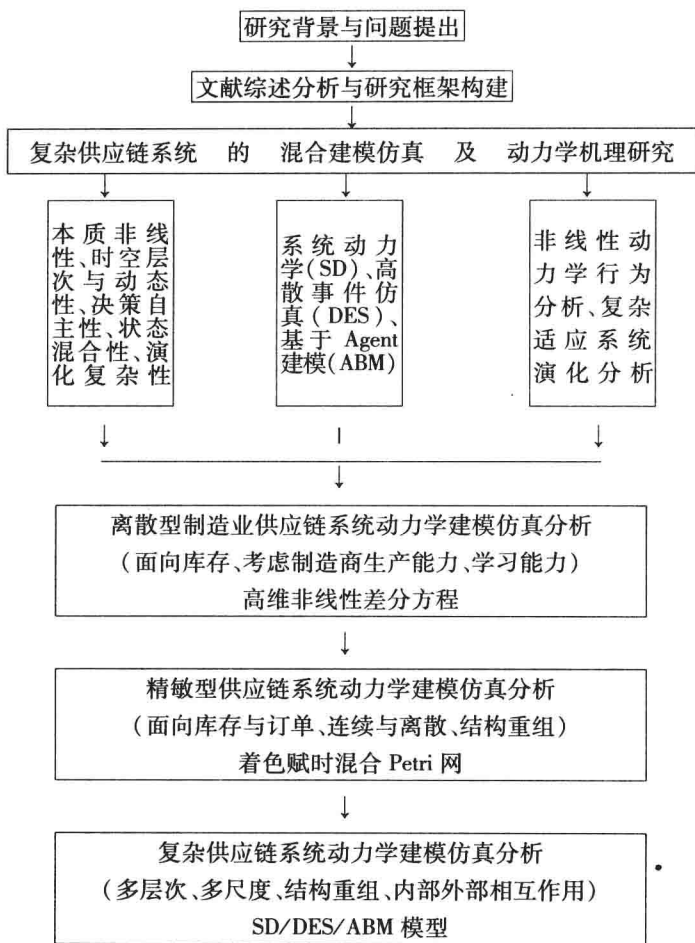


图 1-1 研究思路

第4章采用高维非线性差分方程,建立一个比传统啤酒分销供应链模型相对复杂的离散型制造业供应链模型,模型中考虑制造商的生产能力和学习能力;通过仿真研究系统标准模型的非线性动力学行为模式及其分布,分析影响行为模式和节点成本分布的因素及其影响规律。

第5章考虑现代供应链经常采用的面向订单与面向库存相结合的运行方式及其特点,提出一种新的DES方法,建立面向订单与面向库存模式混合的精敏型供应链系统模型,通过仿真研究这种机制和结构都更为复杂的系统动力学行为及其影响因素。

第6章针对实际供应链中不同层次的决策特点,提出采用SD、DES、ABM混合方法,建立考虑供应链成员内部单元之间、成员之间以及供应链系统与外部环境之间的相互作用的复杂供应链系统模型,通过仿真研究不同层次的决策特点以及各种相互作用对复杂系统动力学行为与结构的影响。

第3部分:总结与展望。这一部分即第7章。

对全书的研究工作及创新性贡献进行总结,并指出研究的局限性和需要进一步研究的方向。