

协同供应链及其突发事件 应对机制研究

李宏宽 李忱 著



清华大学出版社

协同供应链及其突发事件 应对机制研究

李宏宽 李忱 著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

近些年来,由于供应链系统自身的复杂性和多主体性快速增强,使得供应链的协同面临众多威胁,同时频繁发生的突发事件以及快速多变的市场环境,使得供应链日常运营过程中的不确定性因素正在快速增加,因此供应链系统的协同管理以及在受到突发事件的影响后,如何能快速有效地恢复协同状态成为供应链管理研究领域中的重要问题。本书基于协同学、博弈论和运筹学等理论,采用理论分析、模型构建与求解以及数值仿真分析相结合的方法,研究基于 Multi-Agent 技术和期权契约机制的供应链协同管理以及突发事件决策应对问题,并在此过程中对供应链系统内部决策成员具有不同的风险偏好加以考虑。

本书适合从事供应链协同管理及突发事件应对研究的相关人员参考,也可以作为高等学校高年级本科生和研究生的学习参考书,以及教师教学的参考资料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

协同供应链及其突发事件应对机制研究/李宏宽,李忱著. —北京:清华大学出版社,2017
ISBN 978-7-302-47372-5

I. ①协… II. ①李… ②李… III. ①供应链管理—研究 IV. ①F252.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 124146 号

责任编辑:刘向威 李 晔

封面设计:文 静

责任校对:李建庄

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京泽宇印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm

印 张:9.25

字 数:212 千字

版 次:2017 年 10 月第 1 版

印 次:2017 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~700

定 价:49.00 元

产品编号:075228-01

前言

近些年,随着物联网时代的到来,以及工业 4.0 战略、“一带一路”等战略在全球范围内的影响不断扩大,供应链的发展也逐渐呈现出新的趋势——组织结构越发复杂化,效率至上的原则被不断强化,同时受全球经济动荡、地缘政治冲突加剧等因素的影响,供应链外部环境的不稳定性越来越突出等。这些新的发展趋势对供应链的协同运作带来了新的挑战,并且其也在很大程度上增加了供应链运作过程中所面对的风险和不确定性。因此,如何实现供应链的协同运作,以及在突发事件下最大程度地降低供应链系统受到的影响,保持供应链系统的协同性和稳定性已成为当前供应链管理中的关键问题。

本书在对国内外已有的相关成果进行广泛研究与分析的基础上,采取理论分析、模型构建与求解以及数值仿真分析相结合的方法,借助协同学、博弈论和运筹学等理论,对基于 Multi-Agent 技术和期权契约机制的供应链协同管理以及突发事件决策应对进行研究,并对供应链系统内部决策成员具有不同的风险偏好加以考虑。最终构建了基于 Multi-Agent 技术的供应链协同管理系统模型,同时验证了期权契约在实现供应链协同及突发事件应对方面的有效性,并提出了基于期权契约的供应链协同策略以及突发事件下的应对策略。

本书的主要研究内容可以概括为以下几个方面:

(1) 基于 Multi-Agent 技术和期权契约机制实现供应链系统不同层面的协同运作。利用 Multi-Agent 技术,以制造商主导型三级供应链系统作为研究对象,在对其业务流程和协同类别分析的基础上,构建了基于 Multi-Agent 技术的供应链协同管理系统模型,并对协同管理系统的协同管理原理及过程进行了分析;利用期权契约机制,分别对制造商主导型和零售商主导型供应链的基本协同进行了研究。首先将供应链系统看作统一的整体,建立供应链集中决策模型,通过对模型的分析与求解得到集中决策下系统的最优决策。随后引入期权契约机制,建立供应链期权契约基本协调模型,通过对模型的分析与求解,得到合理的协同策略,使系统内决策企业在期权契约的激励下选择系统最优产品生产量进行生产,从而实现供应链系统的协同运作。

(2) 基于期权契约机制实现供应链系统对突发事件的有效应对。分别以制造商主导型和零售商主导型供应链作为研究对象,建立突发事件下供应链集中决策模型和基于原期权

契约的分散决策模型,分析当突发事件引起市场需求分布发生波动后,供应链系统和原期权契约下决策企业的最优决策所发生的变化,并在此基础上建立突发事件下供应链基于期权契约的应对模型,证明期权契约对突发事件合理应对的有效性,并得到突发事件下基于期权契约的协调策略。

(3) 考虑决策成员风险偏好的供应链基于期权契约实现突发事件的有效应对。通过引入 CvaR 风险测量准则,以零售商主导型供应链为例,研究当制造商具有一定风险偏好时,如何基于期权契约使供应链有效应对突发事件所带来的影响。在 CvaR 风险测量准则下,制造商决策函数发生变化,由最大化其自身收益函数转变为最大化其 CvaR 函数。首先建立考虑风险偏好下基于期权契约的供应链基本协同模型,得到正常情况(没有突发事件发生)下基于期权契约的基本协同策略。然后在此基础上,通过建立突发事件下考虑风险偏好的供应链集中决策模型和基于原期权契约的分散决策模型,得到当突发事件导致市场需求变化时,供应链系统和原期权契约下具有风险偏好的制造商,二者的最优决策所发生的变化。最后在以上分析的基础之上,建立突发事件下考虑风险偏好的供应链基于期权契约的应对模型,证明在考虑决策成员风险偏好的供应链系统内,期权契约对突发事件合理应对的有效性,并得到突发事件下基于期权契约的协调策略。

综上所述,本书围绕供应链系统的协同运作以及突发事件下的有效应对问题展开研究,基于 Multi-Agent 技术和期权契约机制分别构建了合理有效的模型,并通过对模型的分析与求解,给出了相应的协同运作及突发事件应对策略,最终通过数值仿真与分析予以支撑及验证。

本书得到国家自然科学基金项目(编号:61272513)的资助,也是此项目的主要成果之一。

本书适合从事供应链协同管理及突发事件应对研究的相关人员参考,也可以作为高等学校高年级本科生和研究生的学习参考书,以及教师教学的参考资料。

由于作者水平有限,书中的不当和疏漏之处,敬请广大读者不吝指正。

李宏宽

2017年6月

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和研究意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 相关研究文献回顾与评述	3
1.2.1 供应链协同管理研究现状	3
1.2.2 突发事件下供应链应急管理研究现状	12
1.3 研究思路与方法	15
1.4 本书内容安排和结构框架	17
第 2 章 供应链协同管理理论	19
2.1 协同学和协同管理理论	19
2.1.1 协同学理论	19
2.1.2 协同管理理论	20
2.2 协同学在供应链管理中的应用	21
2.2.1 研究对象的复杂适应系统特征	21
2.2.2 供应链管理的协同学属性	21
2.2.3 供应链协同的内在动因分析	22
2.3 供应链协同管理理论	25
2.3.1 战略层面的协同管理	26
2.3.2 策略层面的协同管理	26
2.3.3 技术层面的协同管理	27

第 3 章 Multi-Agent 技术在供应链协同管理中的应用	28
3.1 Agent 技术理论基础	28
3.1.1 Agent 的定义及特点	28
3.1.2 Agent 的基本结构框架	29
3.1.3 Agent 的分类	30
3.2 Multi-Agent 协同管理系统相关理论	34
3.2.1 Multi-Agent 协同管理系统的定义	34
3.2.2 Multi-Agent 协同管理系统基本结构	35
3.2.3 Multi-Agent 协同管理系统内部的通信	37
3.2.4 Multi-Agent 协同管理系统内部数据库	44
3.3 Multi-Agent 协同管理系统的优势及其建立过程	45
3.3.1 Multi-Agent 协同管理系统的优势	45
3.3.2 Multi-Agent 协同管理系统建立的步骤	45
3.4 Multi-Agent 协同管理系统常用开发平台	47
第 4 章 基于 Multi-Agent 技术的供应链协同管理系统的构建	48
4.1 研究对象背景分析	48
4.2 供应链协同类别与业务流程分析	49
4.2.1 供应链协同类别分析	49
4.2.2 供应链业务流程分析	50
4.3 基于 Multi-Agent 技术的供应链协同管理系统设计	52
4.3.1 Multi-Agent 供应链协同管理系统的 Agent 模块划分	52
4.3.2 Multi-Agent 供应链协同管理系统的总体架构设计	52
4.3.3 Multi-Agent 供应链协同管理系统的 Agent 模块设计	53
4.3.4 Multi-Agent 供应链协同管理系统的内部通信设计	59
4.4 基于 Multi-Agent 技术的供应链协同管理系统分析	61
4.4.1 基于 Multi-Agent 技术的供应链协同管理原理	61
4.4.2 基于 Multi-Agent 技术的供应链协同管理过程	62
第 5 章 基于期权契约的零售商主导型供应链基本协调模型	64
5.1 系统描述及模型假设	64
5.2 零售商主导型供应链集中决策模型	66
5.3 零售商主导型供应链基于期权契约的协调机制	67
5.4 数值仿真与分析	69

第 6 章 基于期权契约的制造商主导型供应链基本协调模型	71
6.1 系统描述及模型假设	71
6.2 制造商主导型供应链集中决策模型	72
6.3 制造商主导型供应链基于期权契约的协调机制	72
6.4 数值仿真与分析	74
第 7 章 突发事件下零售商主导型供应链基于期权契约的应对研究	76
7.1 系统描述及模型假设	76
7.2 突发事件下的零售商主导型供应链决策模型	78
7.2.1 突发事件下零售商主导型供应链集中决策模型	78
7.2.2 突发事件下基于原期权契约的零售商主导型供应链分散决策模型	82
7.3 突发事件下零售商主导型供应链基于期权契约的协调策略	86
7.4 数值仿真与分析	92
7.4.1 协同效果仿真与分析	92
7.4.2 参数敏感性仿真与分析	93
第 8 章 突发事件下制造商主导型供应链基于期权契约的应对研究	95
8.1 系统描述及模型假设	95
8.2 突发事件下的制造商主导型供应链决策模型	97
8.2.1 突发事件下制造商主导型供应链集中决策模型	97
8.2.2 突发事件下基于原期权契约的制造商主导型供应链分散决策模型	98
8.3 突发事件下制造商主导型供应链基于期权契约的协调策略	99
8.4 数值仿真与分析	102
第 9 章 突发事件下考虑风险偏好的供应链基于期权契约的应对研究	104
9.1 系统描述及模型假设	104
9.2 CvaR 风险测量准则	107
9.3 考虑风险偏好的期权契约协调基本模型	108
9.3.1 供应链集中决策模型	108
9.3.2 考虑风险偏好的供应链期权契约协调机制	109
9.4 突发事件下考虑风险偏好的供应链决策模型	112
9.4.1 突发事件下供应链集中决策模型	112
9.4.2 突发事件下基于原期权契约的分散决策模型	114
9.5 风险偏好下基于期权契约的突发事件应对策略	118

9.6 数值仿真与分析	123
9.6.1 基本协调仿真与分析	123
9.6.2 制造商风险偏好系数敏感性仿真与分析	124
9.6.3 基于期权契约的突发事件应对仿真与分析	125
第 10 章 研究结论与研究展望	127
10.1 研究结论和成果	127
10.2 研究展望	129
参考文献	130

第 1 章

绪 论

1.1 研究背景和研究意义

1.1.1 研究背景

供应链是围绕核心企业,通过对物流、商流、资金流、信息流的控制,将供应商、制造商、分销商、零售商以及最终用户连成一个统一整体的功能网链结构^[1],其并不是一个简单的线性组合,而是一个相互依赖并不断变化的复杂系统。由于现实中的供应链系统由不同的经济实体组成,而经济实体各自有不同的优化目标和私有信息;同时,供应链中存在许多不确定因素,如客户可能会中途改变或取消订单、材料或零部件不能准时到达、生产过程中设备突然发生故障等,这使得供应链系统具有很强的复杂性和动态特性^[2]。因此,供应链的协同即成为其成功运行的关键,也在很大程度上决定着整个供应链系统的竞争力和市场立足能力。有效的供应链管理必须使供应链企业间和企业内部的各项行为与活动实现协同,使供应链作为一个整体运行。供应链协同也逐渐得到越来越多领域内研究学者和管理人员的重视,基于各种技术和理论的供应链协同管理方式也在吸引越来越多的学术和行业资源。其中,供应链契约因其低成本性和操作灵活性在供应链协同管理过程中具有广泛的应用;同时,随着物联网新纪元的到来,以及中国制造 2025、工业 4.0 战略的提出,基于 Multi-Agent 技术的供应链协同管理方式也得到了快速发展。

近些年,供应链的发展逐渐呈现出新的趋势。首先,随着产品复杂性的逐渐增高以及经济全球化的不断深入,供应链呈现出明显的全球化和复杂化的趋势。同一供应链内各企业的分布区域越来越分散且产品差异性逐渐增大,如高通(Qualcomm)公司为三星、联想、华为等公司提供手机、平板的中央处理器,从设计、制造到最终封装测试,整个供应链包含了几十家企业,跨越数个国家和地区。其次,为了在目前快速变化的市场竞争中抢占先机,供应链开始呈现出过分注重效率的发展趋势。这主要表现在近些年供应链管理开始越发强调精益生产(Lean Production, LP)、零库存管理(Zero-stock Management, ZS)、准时生产方式(Just In Time, JIT)、供应商管理库存(Vendor Managed Inventory, VMI)等策略,以及为最

大限度地降低成本,实现规模效应,生产和分销开始走向集中化的发展道路;同时全球供应链开始逐渐精简供应商,甚至采用单源供应的方式进行生产^[3]。最后,随着近年来国内外各种突发事件的频繁发生,供应链所面对的外部环境变得越来越复杂和不稳定。例如2011年日本大地震对全球多个产业的供应链造成严重影响,甚至造成一些厂商被迫停产,美国的福特、通用等多家大型汽车生产商以及日本的索尼、尼康等电子企业均出现元件供应不足,甚至供应链断裂的现象;2013年菲律宾遭受超强台风“海燕”袭扰,交通和运输难以在短时间内恢复正常,造成中国和全球多家食品企业供应链遭受不同程度的破坏。供应链近些年所呈现出的这些发展趋势虽然在某些层面有效地提高了供应链对目前市场需求多样化以及多变化的应对能力,但同时也在更大程度上增加了供应链所面对的风险和不确定因素,而这些风险和不确定因素对企业和供应链的影响是不可轻视的,它不仅可能造成供应中断、需求扰动以及成本上涨等问题,甚至会打破原有协调供应链的正常运作,使供应链上各节点企业的利益受到威胁。因此,最大程度地降低供应链系统受到突发事件的影响,保持供应链系统的协调性和稳定性,已作为供应链管理中的一项关键问题受到越来越多的重视^[4]。

为了有效地管理好突发事件下的供应链,使供应链在突发事件下依旧可以保持协同的运作,要求供应链中的各实体及其功能之间的活动必须以高度协同的方式进行合作。Multi-Agent技术和供应链契约机制作为使用最为普遍的供应链协同管理手段之一,已成为目前突发事件下供应链应对管理研究中的两种重要工具。其中,Multi-Agent技术得益于近些年人工智能领域算法和硬件技术的不断完善,其智能化水平得到快速提升,同时凭借对分布式、复杂化系统的适应性优势,Multi-Agent技术在供应链突发事件应对方面的作用越来越大。此外,随着金融工具在供应链管理中的应用也更加普遍,期权契约也随之得到供应链突发事件应对领域中更多管理实践者和学术研究者的关注。在供应链突发事件应对方面,期权契约拥有着自身独特的优点,在期权契约下,商品的供给具有一定的弹性,同时契约执行双方可以借助期权购买量有效地实施风险共担。具体来说,买方根据对自身所面对市场需求的预测,向供方购买一定的初始订购量和期权购买量,通过这种在销售期前由买方向卖方支付一定的期权购买费提前购买一定量期权的方式共同分担市场风险,同时也能使供应链各成员的利益得到合理的分配,避免突发事件对供方和买方造成过大的影响;在销售季节开始后,买方根据自身所面对的实际市场需求,通过再向卖方支付一定量的期权执行费用进行二次补充进货的方式实现供应链系统运作过程中的供给弹性,提高供应链对市场需求的满足度。因此面对当前复杂多变的内外部环境,有必要对供应链系统基于Multi-Agent技术和供应链期权契约机制的突发事件应对管理问题进行研究^[5]。

1.1.2 研究意义

本书研究的理论意义在于,随着信息技术的发展,研究者不断基于Multi-Agent技术开

展对供应链协同管理的研究,也出现了诸多相关研究成果。本书在已有文献研究的基础上,结合当前研究的不足,提出了基于 Multi-Agent 技术的三级供应链协同管理系统总体架构并进行了各组成部分的具体设计;同时对基于 Multi-Agent 技术的三级供应链协同管理的原理和过程进行了分析。此外针对目前随着“互联网+”的发展,零售商和制造商均有可能成为整个供应链主导者的情况,本书基于国内外已有研究,打破原有研究更多聚焦于制造商主导的局限性,分别针对制造商主导型和零售商主导型供应链,建立基于期权契约的供应链协同模型和突发事件下基于期权契约的决策应对模型,并对供应链内部决策成员具有不同的风险偏好加以考虑。这使得基于契约和 Multi-Agent 技术的供应链协同及突发事件应对领域的研究内容得到了丰富,同时也给其他学者未来进行进一步的实证和理论的研究提供了基础。

本书研究的实践意义在于,建立基于 Multi-Agent 技术和期权契约机制的供应链协同管理模型,以及突发事件下基于期权契约的供应链应对模型,虽然一些假设条件存在于模型的建立过程中,并且还需要实践中的进一步检验,但其仍然提供给供应链管理决策者一个新的视角审视供应链协同,为决策者进行供应链协同管理提供了更全面的思路及方法支持,同时其也可以为供应链管理决策者面对突发事件时做出快速而有效的应对措施提供重要的决策依据。

1.2 相关研究文献回顾与评述

1.2.1 供应链协同管理研究现状

供应链协同的概念是 20 世纪 90 年代著名的供应链管理专家 David Anderson 首次提出^[6],之后供应链协同引起学术界学者的高度关注和企业管理专家的普遍重视,并一直成为供应链管理领域最为热门和最为重要的研究方向之一。近 20 年来,经过国内外诸多学者和管理实践者的大量实证分析和理论研究,供应链协同理论研究取得了较大的发展,为该理论更深入的研究奠定了良好的基础,同时也促进了供应链理论的发展。以下将从三方面对与本书研究相关的国内外主要研究成果进行梳理和总结。

1. 供应链协同概念的相关研究

供应链协同作为一个宽泛、具有包容性的概念,迄今为止学界还没有对它的概念形成一个共识,不同的学者对其有着不同的理解。供应链协同体现在两个方面:企业组织内部要素及环节之间的协同和成员企业组织间的协同。在非特殊说明的情况下,供应链协同一般是指供应链成员企业间的协同,对供应链协同的研究就是对供应链成员企业之间协同的研究。近些年对供应链协同概念的相关研究如表 1-1 所示^{[8~12],[16~28]}。

表 1-1 近些年供应链协同概念的相关研究

序号	学 者	供应链协同的概念
1	张敏,吴美安(2003)	供应链协同是指产品或服务从原材料的采购开始,向消费者用户方移动的全过程,通过供应链中各个成员企业的共同努力,创造出较大的供应链整体价值,而不是个体环节价值简单的综合
2	程国平(2003)	供应链协同是指两个或两个以上企业通过公司协议或者联合组织的方式,以实现某种战略目标而形成的网络式联合体
3	凌鸿等(2006)	供应链协同是指以包括供应商企业、分销商企业等战略合作伙伴以及最终消费者客户在内的整个供应链为决策对象,以顾客需求和经济全球化为导向,依靠信息技术加强与上下游成员企业之间的信息资源共享以及业务流程协作运行,实现供应链成员企业共同的战略目标
4	Whipple(2007)	供应链协同是供应链内成员企业为了提高供应链的整体竞争能力而实现的彼此协调和共同努力。预期的协同效益体现在精确预测、扩大销售、信息高度共享、成本显著降低、库存显著减少和客户服务满意度明显提高等核心业务领域
5	马士华,桂华明(2009)	强调供应链成员为了获得更高的收益,或者为了以低成本有效地满足消费者客户需求,实现企业之间的资源整合、组织成员之间的关系协调和供应链业务及其流程的协同运作。目的是为了提升供应链整体竞争能力,获取整体竞争优势
6	Cao,Zhang(2011)	供应链协同可以被定义为一个伙伴关系流程,指两个或多个自治企业为实现共同目标和达成相互收益,彼此之间紧密协作地去计划和执行供应链运作。供应链协同包括独立供应链伙伴之间的信息共享、目标一致性、同步决策、资源共享和激励联盟
7	Kumar,Banerjee(2012)	供应链协同是指在激烈竞争的环境中,具有不同互补能力的两个或多个独立的(企业)外部和(企业)内部成员在合作过程中实现其单独个体所无法实现的愿望和目标
8	Li Hongkuan,Li Chen(2013)	供应链协同是指供应链系统作为一个整体,其内部各节点成员企业基于一定的运行规则和实施策略,通过约定和协议进行责任、风险、利益的分担和共享,从而最终实现供应链系统整体利益的最大化,同时系统内各节点成员企业均有动力接受这一状态
9	肖群,马士华(2016)	引入 CvaR 风险测量准则,考虑了供应链协同过程中成员企业的风险偏好。其认为供应链协同是指在整个供应链系统整体利益实现最大化的同时,在成员企业的置信水平 η 下,成员企业以低于 η 分位数的平均利润最大化为决策目标,均有动力接受这一状态

根据不同的观点,供应链协同被赋予了不同的定义,但归纳近 20 年来国内外学者对于供应链协同概念的研究,其主要分为两种:

第一,供应链协同就是将供应链上分散在不同地点、处于不同价值增值环节的、具有特定优势的节点企业联合起来,以协同机制为前提,以协同技术为支撑,以信息共享为基础,促进节点企业内部和外部协调发展,从而实现供应链系统的“整体最优性”,在提高供应链整体竞争力的同时,实现系统整体效益的最大化。

第二,供应链协同就是要求供应链中各节点企业通过公司协议或联合组织等方式结成一种网络式联合体,在这一协同网络中,供应商、制造商、分销商和客户等节点成员可以动态地共享信息并彼此协调,从而实现供应链系统的“整体一致性”,步调一致地向着共同目标而发展。

通过对供应链协同相关文献的研究,本书认为协同应同时包括“整体最优性”和“个体受益性”两方面,供应链协同不仅针对整个供应链系统,其在最大化整个供应链系统利益的同时,应实现供应链节点企业效益的提高。因此,本书认为供应链协同是在信任、合作和双赢的基础上,立足于快速变化的市场需求,以供应链系统整体利益最大化,同时提高系统内各节点企业利益为目标,由供应链核心企业主导,应用信息技术、契约机制等协同手段,把供应链系统内成员企业紧密连接在一起,形成具有高竞争力和快速反应力的协同联盟。

2. 基于 Multi-Agent 技术的供应链协同管理相关研究

在 Multi-Agent 系统模型中,Agent 是一个软件实现的对象,存在于一个可执行的环境中,具有主动学习和适应环境的能力,Agent 之间能够进行交互^[29]。Agent 具有适应性、自治性和社会性,最适合应用于模块化、分布式、易变、非结构化或复杂化的环境中。因此,Multi-Agent 系统是实现实时交流和决策制定的可行技术。每个 Agent 代表决策制定过程中的一部分,组成决策者紧密联系的网络,以实时响应客户需求^[30]。供应链系统与 Multi-Agent 系统具有很多相似之处,见表 1-2^[31]。

表 1-2 供应链系统与 Multi-Agent 系统的相似性

供应链系统的特征	Multi-Agent 系统的特征
供应链是由多个完成不同阶段任务的功能实体所组成	Multi-Agent 系统是由多个担当不同角色和具有不同功能的 Agent 所组成
供应链上的每一个实体都有自己的目标、具有完成一定任务的能力,并且遵循一定的业务规则	每一个 Agent 都有自己的目标、资源以及需完成的任务,并且具有用户所表示的决策规则
在供应链中需协调物流、信息流和资金流	Agent 在网络中通过通信与相互作用进行协调
供应链上的实体具有不完全信息,需要在不同实体之间进行信息共享	Agent 能和其他的 Agent 进行通信,且能通过交换信息共享信息和知识
供应链中的知识是分布的,决策必须通过实体之间的相互协商和协调	Agent 是自治的,对所监控的环境做出响应,主动地采取行为,并与人和其他 Agent 相互作用

续表

供应链系统的特征	Multi-Agent 系统的特征
供应链上的成员需要学习和推理,为操作和计划做出个体和联合的决策	Agent 能够根据规则以及在开放的环境中所学到的知识进行推理
供应链的结构具有柔性,即可以采用不同的结构完成不同的策略	Multi-Agent 系统是一个柔性系统,可以采用不同的控制和连接结构
供应链中的任务可以分解成子任务,或将任务综合	Agent 可以将它的任务交付给其他 Agent 或与其他 Agent 相互协调形成较高层次的系统
供应链具有动态性,即实体可以参与供应链也可以离开供应链	Agent 能加入一个 Multi-Agent 系统,也可以退出一个 Multi-Agent 系统

国外学者对 Multi-Agent 技术在供应链协同管理中的应用研究集中在供应链建模和供应链系统构建两方面。供应链管理关注多个决策者的协调一致,所需要的信息基础设施是由一个分布式信息系统支持的。因此,分布式系统模型最适合于描述供应链网络,基于 Agent 之间明确清晰交流的 Multi-Agent 系统便是供应链建模的必然选择。Hinkkanen 等^[34]建立了适用于动态环境的 Agent 模型,其中 Agent 不仅描述供应链中的信息流和产品流,而且描述资金流。Lin 和 Shaw^[35]提出了一个 Multi-Agent 方法用于对 OFP 建模,对不同供应链构造中的三种需求策略(按订单生产、按库存生产、按订单装配)进行评估,发现有效的信息共享在保持订单执行周期不变的情况下能减少库存成本。Kimbrough 等^[36]应用 Agent 建立供应链仿真模型,采用遗传算法寻求最优的订单配置,从而研究如何减小牛鞭效应。Yung 和 Yang^[37]应用 Multi-Agent、人工智能和 Internet 优化供应链中的产品和信息流。Lau 等^[38]针对分布式项目调度问题描述了一种基于 Multi-Agent 的方法。Yu 和 Zhang^[39]对考虑供应链内部成员的喜爱偏好时,如何利用 Multi-Agent 技术实现供应链协同进行了研究,同时给出了“强化学习算法”,Agent 可以通过这种“强化学习算法”学习最优策略,并可反复与代表不同用户偏好的 Agent 进行交互。最终研究的结果表明,“强化学习算法”优于其他学习方法。

除此之外,还有大量的研究集中在如何利用 Agent 进行供应链系统的构建。加拿大多伦多大学在实施企业集成计划中,将集成供应链管理列为其重要项目,他们所开发的供应链集成系统由一组合作的、智能 Agent 组成,每个 Agent 能够完成供应链上的一种或几种功能^[40~42]。Barbueeanu 和 Fox^[43]为达到 Agent 之间的协调构造了一种 Agent 之间的交流语言和接口。Barbueeanu 等^[44]继续此项工作,构造了一个基于 Agent 的供应链模型。在此模型中,所有实体和生产活动都表述为一个个的 Agent,包括购买 Agent、客户 Agent、销售 Agent、计划 Agent、物料 Agent、生产 Agent、调度 Agent、运输 Agent。Fox 等^[48]还提出了一个更复杂的框架以支持协调和管理混乱的事件,基于马尔科夫决策过程的理论决策计划被集成到了 Agent 单元中。Swaminathan 等^[49]也描述了一个供应链模型框架。采用此框架的供应链模型是由代表各种供应链 Agent(如零售商、制造商、运输商)、它们的要素控制

元素(如库存策略)以及它们的交互协议(如消息类型)的软件组件构成的。该模型提出的目的是进行战术层和运作层的集成。Allwood 和 Lee^[50]指出应用 Agent 进行仿真建模的研究文献未考虑 Agent 之间存在竞争,从而模型缺乏现实意义。文章提出了一个新的 Agent 结构,以研究竞争供应链网络中的动态行为,从而可用于发现合作伙伴进而指导实践。该 Agent 的显著特点是它能在相互竞争的卖主之间进行选择、能对多个客户订单按优先级进行分派、能管理生产和库存、能根据竞争行为进行定价。Xue 等^[51]提出构造供应链(construction supply chain)的概念,分析了其中存在的难题。为解决这些难题和提高构造性能设计了一个基于 Multi-Agent 的框架,该框架基于多目标谈判(Multiattribute negotiation)和多目标效用(Multiattribute utility)理论。该框架将构造供应链中的相关组织和多目标谈判模型集成到 Multi-Agent 系统中,通过 Internet 上进行的多目标谈判机制为供应链构造过程中的协作提供解决办法,此外,文章还进行了原型系统的开发。Kamalendu 和 Karakostas^[52]提出了一种基于 Multi-Agent 的协同采购系统和 Web 服务框架(CMPS),其内部信息有两种形式:业务规则和服务描述,通过使用基于规则的推理(RBR)和基于案例的推理(CBR),利用这种混合的信息从而形成适当的服务,以实现供应链系统的整体协同运作。

国内学者也进行了相关的研究。年劲飞和黄道^[53]从 Multi-Agent 和单一 Agent 的角度对供应链环境下协商要素进行了分析。在此基础上,结合供应链管理中协商的特点,提出了一个通用协商模型。在该模型中给出了一个灵活的协商协议,并对 Agent 的决策模型进行了分析。蔡勇等^[54]在分析制造商与供应商协商系统结构的基础上,给出了制造商与供应商的具体协商策略,分别阐述了制造商与供应商的协商决策机制,并且将 Agent 技术运用到制造商与供应商协商系统中,具体分析了 Agent 系统框架及应用实例。高翔等^[55]设计了一个基于 Agent 的供应链仿真模型,给出了模型的类结构图、主要算法实现及消息的部分代码实现,通过实验验证了方法的可行性。林杰等^[56]在给多个 Agent 分别赋予生产运作的各种知识,如库存管理、生产计划等之后,通过多个 Agent 协调合作,对供应链中企业的生产运作过程进行仿真。在研究该仿真系统的 Agent 的内部任务、结构、通信机制等实现技术基础上,实现了该系统,并给出了一个供应链仿真的结果。姜金菊和林杰^[57]提出了一个基于 Agent 的供应链仿真方法,进而在实践上把 Multi-Agent 技术和仿真技术相结合,并利用 Agent 开发工具 ZEUS 在供应链框架内开发了一个 Multi-Agent 仿真模型进行供应链仿真,利用该 Multi-Agent 模型,通过量化供应链中的信息流和物流,评估分析了所提出的供应链管理策略。蒋国瑞和庞婷^[58]提出了一种基于 Multi-Agent 技术的自适应协商方法,使用 Multi-Agent 供应链协同作为约束条件,采用案例推理为主要协商算法,并引入灰色关联度到案例集与目标案例相似度中,将遗传算法应用于相似案例议题权重的优化中。最终通过算例验证该方法可简化案例相似度的计算,提高解决冲突的效率,并加强自适应性,为消解供应链协同过程中的冲突提供最优决策。武玉英等^[59]针对随机需求下供应链产销订购冲突问题,构建主从博弈下的 Multi-Agent 协商模型,制造商和零售商分别作为博弈主方和

从方, 制造商 Agent 和零售商 Agent 运用模拟退火算法寻求模型的最优解。通过算例发现合理的让步策略和收益共享契约, 能够提高供应链系统利润并实现双方的互利共赢。孙军艳等^[60]分析了轿车供应链各 Agent 的行为特征及网络总体结构, 利用 AnyLogic 平台构建了一个以多个制造商为核心的四级轿车供应链网络仿真模型, 并对轿车供应链系统的非线性特性、各 Agent 和网络整体的演化规律进行了仿真分析。研究发现供应链系统具有复杂自适应系统的典型特征, 运动呈混沌状态, 其演化经历了形成、成长、成熟 3 个阶段, 不同阶段供应链上节点的竞争策略重点不同。

3. 基于契约机制的供应链协同管理相关研究

在法学领域, 契约指的是两方和多方之间为履行相互设定的合法义务而形成的具有法律强制力效用的协议。在现代经济学中, 契约的概念含义比法律所使用的概念含义更为广泛, 不仅包括具有法律效力的契约, 而且包括一些约定俗成的契约。现代经济学中的契约概念, 在实践中, 对所有的市场交易行为无论是长期的还是短期的, 不管是显性的还是隐性的, 都视作是一种契约关系存在, 并将此存在作为经济行为分析的基本要素^[61]。供应链协同中的契约是指供应链中任意节点成员企业之间的相互关系, 采用契约的方式进行管理和约束以提高供应链的整体竞争力, 预期的供应链协同收益体现在信息的精确与及时共享、信息预测的准确性提高、库存结构的有效优化、成本的有效降低、销售额的显著提升以及提供给客户的服务改善和提高等供应链运作核心业务环节和领域^[62]。关于供应链中有关契约的研究文献非常多, 从研究内容上进行分类, 大致可以包括以下几个方面。

1) 最优定价的相关研究

由于双重边际化原因的客观存在, 零售商企业确定的零售价格对整个供应链组织运行往往不是最优的。通过引入激励契约改变零售商和供应商之间的博弈结构, 使零售商企业制定对整个供应链组织运行最优的零售价格, 该类问题的相关研究文献较为丰富。Cachon^[63]就供应链契约, 即批发价契约、回购契约、收益共享契约、数量弹性契约、返利契约、数量折扣契约中的价格和采购量等参数的确定做了非常详尽的综述。刘琦铀等^[64]在低碳视角下考虑公平关切, 分别讨论了当零售商不具有公平偏好及具有公平偏好时, 不公平分配的制造商向零售商提供定价契约能否实现协同, 以及实现协同的契约参数设置等问题。研究发现, 制造商和零售商具有的不同公平偏好将对契约的协同效应产生影响。吕璞等^[65]研究了高铁企业面对契约和零售双市场的高铁快递运输定价决策问题, 分析了高铁企业与快递公司的博弈过程, 分别就序贯定价和联合定价两种方式构建模型, 分析了两种方式下铁路企业的最优定价决策并进行了比较。研究发现, 大多数情况下联合定价给铁路企业带来的收益大于序贯定价, 只有当高铁企业对零售市场需求预测的误差大于某一阈值时, 序贯定价才优于联合定价。

2) 生产能力预留问题

Lariviere 等^[66]详细地研究了单一制造商和单一供应商组成的两级供应链中供应商生