

不确定因素影响下 复杂供应链的动态行为

BUQUEDING YINSU YINGXIANGXIA
FUZA GONGYINGLIAN DE DONGTAI XINGWEI

李卓群/著

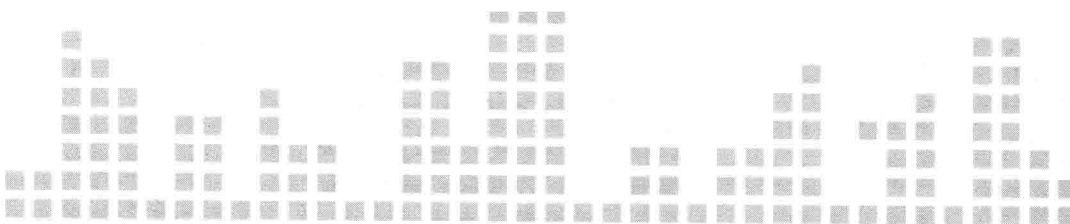
中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

不确定因素影响下 复杂供应链的动态行为

BUQUEDING YINSU YINGXIANGXIA
FUZA GONGYINGLIAN DE DONGTAI XINGWEI



中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

不确定因素影响下复杂供应链的动态行为/李卓群著.
—北京: 经济科学出版社, 2017. 10
ISBN 978 - 7 - 5141 - 8622 - 2

I. ①不… II. ①李… III. ①企业管理 - 供应链管理 - 研究 IV. ①F274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 269982 号

责任编辑: 李 雪
责任校对: 王肖楠
责任印制: 邱 天

不确定因素影响下复杂供应链的动态行为

李卓群 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http: //jjkxcbs. tmall. com](http://jjkxcbs.tmall.com)

固安华明印业有限公司印装

710 × 1000 16 开 14 印张 210000 字

2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 8622 - 2 定价: 49.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191510)

(版权所有 侵权必究 举报电话: 010 - 88191586)

电子邮箱: [dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn))

前 言

供应链是一个复杂的大系统，即使在稳定的外部环境下，若供应链库存管理策略不合适，仍然会导致系统不稳定，从而使库存成本增加，供应链性能降低。而面对真实的供应链环境，在供需关系中，不可避免地存在不确定因素，这些因素会对整个系统造成干扰，使企业疲于应付。企业需要掌握供应链的动态变化情况，以制定相应的管理策略来平衡波动带来的影响。因此，研究受不确定因素影响的复杂供应链系统动态变化规律和特征，并且得到能够降低不确定因素影响的库存策略具有重要的现实意义。理论研究者也意识到了这一科学问题，并为解决不确定因素对供应链的负面影响开展了研究工作。通过企业实际调研和文献梳理发现，现有研究中还有许多问题需要解决，本书选取其中的关键问题进行研究。

本书建立复杂供应链系统模型，模型中考虑不同的时间延迟和订货量非负约束条件，使得系统更贴近现实但也愈加复杂，具有复杂的非线性特征。考虑供应链的供需环境，选取来自供应链企业上下游和其自身的三个不确定因素，即不确定需求、不确定提前期和由此产生的不确定的决策行为，把这些因素引入到模型中。研究在不确定因素影响下复杂非线性供应链系统的动力学特征，分析其动态复杂性和规律性，并对复杂性的运作机制和控制方法进行探讨，为避免系统陷入复杂状态提供理论和实验支持。与此同时，考虑多

项供应链性能评价指标,找出能够有效抑制或弱化不确定因素对供应链性能影响的库存策略,为管理实践提供参考。

全书的研究成果如下:

(1) 构建了带切换的、考虑时间延迟的非线性供应链模型。利用订货量时序图、系统分叉图和李雅普诺夫指数 contour 图等展现供应链复杂的动态特性。在不同的库存策略下,系统可以表现出稳定、周期、准周期和混沌等丰富的动态行为。并且在确定环境下得到了提前期分别为 1、2、3、4 时的库存策略稳定区域,并发现随着提前期的增加,稳定域的范围在减小,而且不同提前期之间存在公共的稳定区域。

(2) 不确定需求下准混沌行为的研究。选取常用的几种需求模型,对不同需求模型下系统的准混沌行为进行了分析。通过在整个策略域内计算李雅普诺夫指数,得到整个策略域中 1325 种组合对应的系统稳定特性。进一步利用 k -means 算法对策略域分区进行讨论,比较分析各区间平均 LE 值的取值范围和变化趋势。研究发现,对于不同的需求模型,虽然在不同区域内,平均 LE 值有一定差别,但是各种情景下,总体趋势大致相同。说明供应链系统的复杂性受库存策略的影响,库存策略对系统动态行为有决定性作用,管理者应对库存策略管理引起足够的重视。

(3) 以策略域的形式得到不同外部环境下的库存优化策略。作者在研究供应链特性分析时发现,能够保持高服务水平和低库存成本的区域并不完全相同,与系统稳定域也不相同,但三者有重合的部分。这一发现启发我们寻找能够同时满足多项性能指标的库存策略域,即库存优化策略域。本书分别在确定需求、不同分布的不确定需求和既存在不确定需求又存在不确定提前期这三种情形下,给出了相应的库存优化策略域,并且得到了丰富的、具有管理实践意义的研究结论。

(4) 初步尝试把管理者受不确定因素影响的不确定行为因素纳入到供应链系统动力学模型中,考察管理者的不确定调整行为对供应链的影响。研究考虑了两类行为调整,对不确定需求的调整和不充分供应的调整。研究发现,两类调整行为在不同程度上对供应链有影响,但是调整幅度对供应链的影响程度并不相同,对不充分供应的行为调整对供应链的影响更大。

本书的研究,丰富了现有对复杂供应链系统领域研究的方法,拓展了研究的范围,发展了现有库存决策相关理论。本书的研究内容和研究结论可以为企业管理者降低供应链管理成本和提高管理效率提供理论指导。

李卓群

2017年12月

目 录

contents

1 绪论	1
1.1 选题背景和意义	1
1.2 研究问题文献综述	5
1.2.1 供应链动力学特性综述	5
1.2.2 带约束非线性供应链研究综述	12
1.2.3 供应链中的不确定因素影响研究综述	15
1.3 全书内容概述	25
1.4 技术路线和创新点	27
1.4.1 技术路线	27
1.4.2 创新点	27
2 带约束供应链动态行为分析理论基础	30
2.1 系统思想与复杂性科学	30
2.2 系统的概念与分类	32

2.2.1	系统概念	32
2.2.2	系统分类	33
2.3	复杂系统简介	35
2.4	复杂系统基础概念	40
2.4.1	系统状态	40
2.4.2	系统状态与演化	41
2.4.3	分叉	43
2.4.4	稳定性	44
2.5	系统研究现状和发展趋势	46
2.5.1	研究现状	46
2.5.2	发展趋势	47
2.6	系统建模与仿真概述	49
2.6.1	系统建模	49
2.6.2	系统仿真	51
2.7	供应链模型框架	56
2.7.1	供应链模型概述	56
2.7.2	Forrester 模型	56
2.7.3	啤酒游戏模型	59
2.7.4	APVIOBPCS 模型族	60
2.7.5	本书供应链模型——带约束供应链 系统模型	62
2.8	非线性供应链模型的稳定性分析方法	63
2.8.1	线性化处理方法在供应链模型中的应用	63
2.8.2	应用切换系统稳定分析方法分析带约束 供应链	68
2.8.3	利用最大李雅普诺夫指数判定系统 稳定性	70

2.9 本章小结	73
3 带约束供应链模型动态特征分析	75
3.1 供应链系统差分方程	75
3.2 受时间延迟影响的系统稳定性分析	77
3.3 带约束供应链系统演化分析	82
3.3.1 带约束供应链系统模型	82
3.3.2 订货量曲线变化比较	84
3.3.3 系统分叉图	85
3.3.4 稳定条件理论分析	86
3.3.5 仿真实验验证和不同提前期的稳定域	87
3.4 带约束供应链系统性能分析	90
3.4.1 系统性能评价指标	90
3.4.2 订货策略对性能的影响分析	91
3.4.3 库存优化策略域的提出	92
3.4.4 带约束供应链系统的库存优化策略域	93
3.5 目标库存系数对系统优化策略域的影响	94
3.5.1 目标库存系数变化的性能影响波动分析	94
3.5.2 目标库存系数为 0 和 1 的比较分析	96
3.5.3 目标库存系数为 0 时的最优库存策略 讨论	101
3.6 本章结论与建议	103
3.7 本章小结	104
4 不确定需求对带约束供应链系统的影响研究	105
4.1 不确定需求模型	105
4.1.1 不确定需求模型的选取	105

4.1.2	需求模型的理论分析与验证	106
4.1.3	需求预测模型的理论分析与验证	109
4.2	基础库存模型验证	111
4.3	带约束与不带约束模型的比较	113
4.3.1	POUT 策略下的比较	113
4.3.2	APVIOBPCS 订货策略下的比较	117
4.4	不确定需求模式下系统的准混沌行为	119
4.4.1	准混沌行为的界定	119
4.4.2	不同需求模式下复杂供应链系统的 动态特征	120
4.4.3	库存策略区域的划分和综合分析	124
4.5	不同需求模式下最优订货策略分析	129
4.5.1	性能指标变化趋势分析	130
4.5.2	最优库存策略分析	132
4.5.3	最优策略域的综合分析	139
4.6	本章结论与建议	141
4.7	本章小结	142
5	不确定提前期对带约束供应链系统的影响研究	143
5.1	引言	144
5.2	随机提前期的表示	145
5.3	随机提前期下库存波动理论分析	147
5.3.1	平滑订货策略模型	147
5.3.2	库存波动理论分析	148
5.4	平滑订货策略受随机提前期影响的仿真分析	151
5.4.1	随机提前期的计算机仿真实现方法	151
5.4.2	参数变化对库存波动的影响	152

5.4.3	随机提前期下各参数对服务水平和成本的影响分析	155
5.4.4	平滑订货策略下随机提前期波动对供应链性能影响分析	160
5.5	APVIOBPCS 订货策略受随机提前期影响研究	162
5.5.1	APVIOBPCS 订货策略下有无订货量非负约束的对比	162
5.5.2	目标库存变化对系统性能的影响	165
5.5.3	受随机提前期影响的库存策略选择	166
5.6	本章结论与建议	169
5.7	本章小结	171
6	不确定行为调整对供应链系统的影响研究	172
6.1	引言	173
6.2	问题描述与模型假设	173
6.2.1	问题描述	173
6.2.2	模型假设	174
6.3	模型构建	175
6.3.1	基础模型简述	175
6.3.2	考虑行为因素的系统动力学模型	176
6.3.3	模型检验过程	178
6.4	行为因素影响的比较仿真分析	180
6.4.1	不考虑行为调整的仿真	180
6.4.2	需求不确定行为调整	182
6.4.3	不充分供应行为调整	184
6.5	本章结论与建议	186
6.6	本章小结	187

7 结论与展望 188

 7.1 研究结论 188

 7.2 研究展望 192

参考文献 194

绪 论

本章作为全书的第一部分，论述本书研究的带约束复杂供应链问题的选题背景、研究意义和相关文献综述，文献综述将从供应链系统动力学特征、非线性供应链和本书研究的不确定因素三部分进行阐述。另外，本章将对本书的内容、采用的技术路线和创新点进行介绍。

1.1 选题背景和意义

供应链管理产生于 20 世纪 90 年代，是由竞争激烈的市场环境催生出来的一种新型管理模式。供应链由原材料供应商、产品制造商、分销商和零售商等共同组成，实现把原材料经过生产转化为产成品、再经过销售到达客户手中的全过程。一个供应链系统由在此链上流动的物流和信息流共同组成，图 1-1 是供应链组成的示意图。图中的物流流包括原材料、半成品、产成品直至成为商品的实物流动过程，是发送货物的过程，方向由供应商到制造商到销售商，最终到达用户手中。信息流是采购生产信息、商品交易信息的

流通过程，包括市场需求信息、订单信息、生产计划信息、采购信息等。方向则是物料流的反方向，由需求方到销售商到制造商再到供应商。供应链管理的目标就是要整合和协调供应链上的资源，保证供应链上物料流和信息流的顺畅，在能够满足客户需求的前提下，最大可能地降低成本，提高经济效益。

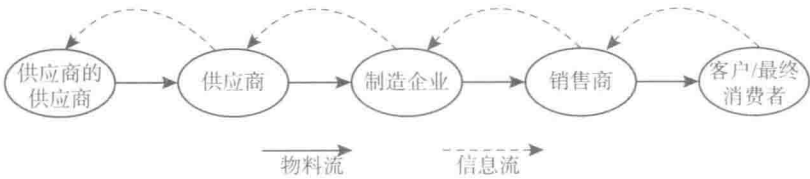


图 1-1 供应链的组成

现代化市场的快速变化促使企业更加专注于发展其核心竞争力，而现代化的交通体系和快速发展的信息技术促进了经济全球化发展。在这种趋势下，企业的合作伙伴可能遍布世界范围，单个企业的发展也越来越依赖于其密切合作的供应链，21 世纪的市场竞争已经演变成供应链之间的竞争。

近年来，越来越多的企业管理者意识到供应链管理的重要价值，借助高速发展的信息技术成果，企业实施各种供应链管理项目，采取各种先进的管理方法以期降低供应链成本、改善企业服务水平、提高企业利润，从而在市场竞争中赢得先机。但企业的努力往往并没有取得预期成效，很大一部分原因在于供应链中存在多种不确定因素，这些不确定因素使得供应链系统具有复杂的动态行为。研究表明，即使在稳定的市场环境下，不合适的供应链库存管理策略仍然会导致整个系统不稳定，从而使得库存成本呈指数增长。面对真实的供应链，不可避免地存在各种类型的不确定性，如市场需求波动，供应能力变化，运输延迟不确定等，这些因素导致供应链系统

越加复杂,无规律可循,大大增加管理难度和管理成本。因此,在不确定条件下,研究供应链的动态行为,探索供应链的本质特征,从而有针对性地给出应对不确定因素的管理策略,对管理实践有着重要的指导意义。

在学术界,对不确定条件下供应链的设计和决策已经开展了深入的研究,提出了许多有效的模型和方法,其中占主导位置的是引入了不确定因素的数学规划方法,如以场景为基础的随机规划方法、机会约束规划方法等。这类方法大多用于高层次的优化决策问题,如供应链网络结构规划,或者用于较长周期的计划、调度等。数学规划方法可以考虑库存、生产和客户需求等多个因素、能够处理多因素复杂问题的优化问题,在供应链管理研究领域得到广泛应用。但是在利用数学规划模型进行研究时,常常把供应链看作是稳态系统,即假设系统的动态在长周期变化中由于合并或聚合而被忽略,由此不考虑时间坐标或只考虑短时期的供应链运行特征;另外,利用数学规划对不确定因素进行建模时,不确定性一般只体现在约束条件中,对其分析也大多局限于形式化的描述,无法应用这类模型研究和理解不确定性对供应链动态变化的影响,以及影响的机制等;同时,在建立数学模型时,为研究方便会进行一些基本假设,假设条件是研究必须要做的抽象,但是由于数学规划方法的限制因素,可能导致某些假设条件与实际并不相符,从而得出的结论可能与实际相距甚远。总之,数学规划模型并不完全适用于充分描述、分析和理解受不确定因素影响的供应链动态变化过程以及其中的动态特征。

本书的研究从始至终把供应链看作是一个随时间变化的系统,从动态变化的角度研究供应链的特性。这是一个必然的研究思路。在市场竞争日趋激烈的今天,市场环境和供应环境瞬息万变,会导致供应链的运行也在不断发生变化,供应链中的企业只有不断地对

市场环境波动产生相应的应对措施,才能保证其经济利益和市场地位。目前,对供应链系统动态研究的建模方法有:连续时间微分方程方法、离散事件动态建模方法、运筹学方法如马尔可夫链、动态规划、多 Agent 系统建模与仿真等。各种方法适用的研究目标并不相同。控制系统方法在研究系统动态特征方面具有优势,利用方框图、传递函数等可以方便地分析系统变量和实体之间的关系,并能够给出理论解。在供应链随时间变化中,其需求、库存、订货、运输、生产计划等数据都在不断地变化,信息系统中也会按照一定的时间间隔被更新。而这一过程可以被描述为控制理论中的状态,因此供应链模型可以转化为控制模型,可以用控制理论对模型的动态变化进行研究。但控制理论在研究贴近实际的复杂供应链系统时仍然遇到瓶颈,而以控制论、系统论并结合计算机仿真技术的系统动力学在研究复杂供应链系统中具有得天独厚的优势。在供应链中存在正向的实物流和反向的信息流,存在延迟和反馈环节,适用于用系统动力学对其进行探索,因此本书利用控制理论和系统动力学方法对供应链的动态变化进行研究。

福瑞斯特(Forrester, 1961)最早对供应链系统的动态性进行研究,并撰写了经典著作《Industrial Dynamics》^[1],也是在这个研究中发现订货波动远远大于需求波动的现象,也就是后来被命名为“牛鞭效应”这一供应链系统动态复杂性的经典现象。由于“牛鞭效应”发现的各种库存问题也逐渐得到普遍关注。在以后的研究中,以英国 Cardiff 大学物流动态小组为代表(Towill^[2], John^[3], Disney^[4-7], Dejonckheere^[8,9]),以及学者(Lin^[10], Sethi^[11]等),出现了一系列采用控制理论与方法对供应链的动态性进行研究的成果,这些成果中有些经典发现,并被成功应用于实践。但这些研究是以线性供应链模型为基础的。另外,研究者发现了供应链模型的非线性问题。研究者(Mosekilde et al.)在研究啤酒游戏模型时,

发现非线性的供应链模型假设会导致系统混沌, 并发现混沌状态下的库存成本费用要远远高于稳定状态^[12]。至此, 对供应链动态的研究在模型假设上分成了两大类。一类是线性模型的研究, 另一类是非线性模型研究。在供应链模型中, 一些假设条件使供应链成为线性模型, 如允许订货量为负、供应量与订货量相同等, 并可解释为允许退货、供应能力无限。很显然, 有些假设与现实不完全相符, 不允许退货和供应量不足的现象时有发生。当在模型中考虑这些约束条件时, 系统则不能再用单一的线性模型表示, 而演变为带切换的非线性系统, 具有与线性系统不同的非线性系统特征。非线性供应链系统的复杂性问题很早就被提出, 但之后的研究比较缓慢, 目前还处于起步阶段。虽然增加约束条件大大增加了研究的复杂度, 但是由于约束条件使得模型更贴近现实, 因此对供应链非线性特征的研究具有重要的价值。

1.2 研究问题文献综述

本书研究以更贴近实际的带约束非线性供应链为基础模型, 在此模型中引入不确定因素, 研究受不确定因素影响的非线性供应链的动态特征。围绕着本书的研究内容, 文献综述从三个方面展开, 分别为供应链的动力学特性、非线性供应链和供应链中的不确定因素。

1.2.1 供应链动力学特性综述

麻省理工学院福瑞斯特教授于 1956 年创立系统动力学, 他利用系统动力学建立啤酒游戏模型首次发现了订单的波动大于需求波动