

分类号 C93/61  
UDC                     

密级                       
编号 10741



# 硕士学位论文

论文题目 物流服务供应链能力决策优化研究

研究生姓名: 李雅梦

指导教师姓名、职称: 彭会萍 教授

学科、专业名称: 管理科学与工程

研究方向: 物流与供应链管理

提交日期: 2022年5月29日

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 李雅梦 签字日期： 2022.5.29

导师签名： 马会萍 签字日期： 2022.5.29

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定，同意（选择“同意”/“不同意”）以下事项：

1.学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2.学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 李雅梦 签字日期： 2022.5.29

导师签名： 马会萍 签字日期： 2022.5.29

# **Logistics Service Supply Chain Capability Decision Optimization Research**

**Candidate :Li Yameng**

**Supervisor: Peng Huiping**

## 摘 要

物流服务供应链在运作过程中总是存在众多不确定因素,也正是这种随机不确定性的存在,很大程度上会造成物流服务供应链供求结构失衡,因此基于需求和产出均存在随机扰动的前提,研究物流服务供应链能力决策问题非常必要。

基于此,本文主要研究两方面的内容:第一,物流服务供应链能力决策研究,基于博弈论,构建单周期静态博弈下的物流服务供应链能力决策模型,并将单周期静态博弈下能力决策的静态解与系统动力学相结合,研究物流服务能力决策变量的多周期动态演化,通过研究发现,多周期博弈过程中会造成决策误差增大即存在牛鞭效应;第二,基于信息共享的物流服务供应链能力决策优化研究。主要是通过构建基于信息共享的物流服务能力决策模型以期优化决策,但是在现实中,真正做到信息共享存在很大阻力,成员往往都不会轻易公开私有的信息,为了能有针对性地激励物流服务供应链节点企业选择信息共享,在本文最后对集成商和提供商的信息共享行为进行了分析。

本文的主要研究成果如下:

(1) 在需求和产出均存在随机扰动的现实条件下,基于博弈论构建物流服务供应链能力决策模型,研究单周期静态博弈下的集成商和提供商的决策策略,结果表明能力投资量的值明显大于订购量的值,两个变量均受到能力产出因子、零售价等的影响,并且能力订购量与能力产出量呈正向相关关系,引入能力订购—投资储备系数来表示两者之间的关系,该系数除了受批发价、单位惩罚成本、残值、单位能力投资成本的影响外,也受产出率的影响,产出率均值越大,该系数越大,产出率方差越大,该系数越小。

(2) 将博弈论与系统动力学相结合,分析能力决策值的动态演化规律。结果表明,物流服务提供商的投资量对订购量有着较高的依赖性,从物流服务能力决策变量(物流服务能力订购量和物流服务能力投资储备量)、物流服务能力持有量、牛鞭效应值三个维度进行探究,由仿真结果可以看出:提供商的物流能力投资量均值及波动范围明显大于市场需求,物流服务能力持有量变动幅度较大,这些仿真结果都证明了物流服务供应链能力决策中存在问题,牛鞭效应值达3.55,这表明基础模型的物流服务能力决策过程中产生了牛鞭效应。

(3) 将信息共享机制引入到物流服务供应链能力决策基础模型中, 结果表明, 相比于基础模型, 信息共享模型下物流能力决策量的波动幅度减小, 同时物流能力供给相对较为稳定, 不再需要提前准备过多的物流服务能力, 便能更好地应对市场需求的变化, 并且牛鞭效应值减小为 1.43, 在一定程度上减少了对人力和物力等资源的浪费, 证明信息共享机制对于物流服务供应链能力决策有一定的协调优化作用。

(4) 基于演化博弈理论构建物流服务供应链节点企业信息共享行为选择模型, 对集成商和提供商信息共享行为的演化发展过程以及受各要素的影响进行具体分析, 研究发现: 双方均选择信息共享策略和双方均选择信息不共享策略是一种动态稳定的策略, 而且对决策者选择信息共享意愿的行为起到反向阻碍影响的分别是信息共享成本和共享风险系数, 而共享信息量、风险因子、信息吸收能力、协同系数和激励系数对其有正向激励作用, 存在着改变演化路径的阈值。

**关键词:** 物流服务供应链 能力决策 牛鞭效应 信息共享 系统动力学

## Abstract

In the operation of logistics service supply chain is always present many uncertain factors, it is precisely that the existence of such random uncertainty that will cause the imbalance of supply and demand structure of logistics service supply chain to a large extent. Therefore, based on the premise of stochastic disturbance of demand and output, it is necessary to study the logistics service supply chain capability decision.

Based on this, this paper mainly studies two aspects: First, the ability of logistics service supply chain decision-making research, based on game theory, building a single cycle ability of logistics service supply chain decision under static game model, and the dynamic evolution of logistics service capacity decision variables is studied by combining the static solution of capacity decision and system dynamics in a single period static game. Through the research, it is found that the bullwhip effect exists in the process of multi-cycle game, which will cause the increase of decision error. Secondly, the research of logistics service supply chain capability decision optimization based on information sharing. The main goal is to optimize the decision-making by building a decision-making model of logistics service capability based on information sharing. However, in reality, there is great resistance to information sharing, and members often do not easily disclose private information. In order to motivate logistics service supply chain node

enterprises to choose information sharing, At the end of this paper, the information sharing behavior of logistics service supply chain members is analyzed.

The main research results of this paper are as follows:

( 1 ) Under the realistic condition of stochastic disturbance of demand and output, the logistics service supply chain capability decision model is constructed based on game theory. The results show that the value of capacity investment is significantly greater than the value of order, and both variables are affected by capacity output factor, retail price, etc., and the capacity order and capacity output are positively correlated. The capacity ordering-investment reserve coefficient is introduced to represent the relationship between the two. The coefficient is not only affected by wholesale price, unit penalty cost, residual value and unit capacity investment cost, but also affected by the yield rate. The larger the mean yield rate is, the larger the coefficient is, and the larger the variance of yield rate is, the smaller the coefficient is.

( 2 ) Combining game theory with system dynamics, analyze the dynamic evolution law of ability decision value. The results show that the amount of investment of logistics service providers has a high dependence on the amount of order. The three dimensions of logistics service capacity decision-making variables (order amount of logistics service capacity and investment and reserve amount of logistics service

capacity), logistics service capacity holding and bullwhip effect value are explored. The simulation results show that: Provider of logistics capability of the investment is bigger than the average and range of market demand, logistics service capability holdings range is larger, the simulation results prove the problems existing in the logistics service capability of supply chain decisions, the bullwhip effect value of 3.55, indicating that the basic model of logistics service ability to produce the bullwhip effect in the process of decision-making.

( 3 ) The information sharing mechanism is introduced into the logistics service supply chain ability decision-making foundation model, the results show that compared with the basic model of information sharing model volatility of logistics ability decision amount is reduced, the logistics capability to supply relatively stable at the same time, no longer need to prepare too much ahead of logistics service ability, can better respond to the change of market demand, Moreover, the bullwhip effect value is reduced to 1.43, which reduces the waste of human and material resources to a certain extent, proving that information sharing has a certain coordination and optimization effect on logistics service supply chain capability decision.

( 4 ) Based on evolutionary game theory, a selection model of information sharing behavior of nodal enterprises in logistics service supply chain is constructed to analyze the development and evolution



process of information sharing behavior of nodal enterprises and the influence of various factors. The research finds that: Both sides choose information sharing strategies and both sides not to choose information sharing strategy is a dynamic stable strategy, but also for policy makers to choose reverse in information sharing behavior affects the cost of information sharing and risk sharing coefficient, and sharing of information, risk factors, information absorption ability, coordination and incentive coefficient have a positive incentive to its, And there are thresholds for changing evolutionary paths.

**Keywords:** Logistics service supply chain ; Capacity decisions ; Bullwhip effect; Information sharing; System dynamic

# 目 录

<b>1 引言</b> .....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究意义.....	2
1.3 国内外研究现状.....	3
1.3.1 物流服务供应链研究.....	3
1.3.2 物流服务能力决策研究.....	4
1.3.3 信息共享研究.....	5
1.3.4 文献述评.....	6
1.4 研究内容及结构.....	7
1.4.1 研究内容.....	7
1.4.2 论文框架图.....	8
1.4.3 论文结构.....	9
1.5 创新点.....	9
1.6 本章小结.....	10
<b>2 相关概念及理论基础</b> .....	11
2.1 物流服务供应链.....	11
2.2 系统动力学.....	12
2.3 博弈论.....	13
2.3.1 斯塔克伯格 (Stackelberg) 博弈.....	13
2.3.2 演化博弈论.....	14
2.4 本章小结.....	14
<b>3 单周期静态博弈下的物流服务供应链能力决策研究</b> .....	16
3.1 问题描述.....	16
3.2 相关假设及符号说明.....	17
3.2.1 相关假设.....	17
3.2.2 符号说明.....	18

3.3 模型构建与求解 .....	19
3.3.1 集中决策 .....	19
3.3.2 分散决策 .....	20
3.4 数值分析 .....	24
3.5 本章小结 .....	31
<b>4 多周期动态博弈下的物流服务供应链能力决策研究 .....</b>	<b>32</b>
4.1 系统动力学基础模型的描述 .....	32
4.1.1 SD 基础模型结构 .....	32
4.1.2 SD 基础模型假设 .....	33
4.2 系统动力学基础模型构建 .....	33
4.2.1 模型变量定义 .....	34
4.2.2 系统动力学流图 .....	36
4.3 系统动力学基础模型稳定性分析 .....	36
4.4 系统动力学基础模型仿真分析 .....	38
4.5 牛鞭效应相关分析 .....	39
4.6 本章小结 .....	41
<b>5 基于信息共享的物流服务供应链能力决策优化研究 .....</b>	<b>42</b>
5.1 信息共享模型相关公式及流图 .....	42
5.2 基础模型与信息共享模型对比分析 .....	43
5.3 信息共享对物流服务供应链中“牛鞭效应”的弱化说明 .....	45
5.4 物流服务供应链信息共享行为演化博弈分析 .....	46
5.4.1 相关假设 .....	46
5.4.2 模型构建与分析 .....	48
5.4.3 动态演化路径分析 .....	53
5.4.4 模型参数分析 .....	54
5.4.5 仿真分析 .....	56
5.5 本章小结 .....	63
<b>6 结论与展望 .....</b>	<b>65</b>

---

6.1 主要结论 .....	65
6.2 未来展望 .....	66
<b>参考文献 .....</b>	<b>67</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>72</b>
<b>攻读硕士学位期间发表论文及科研情况 .....</b>	<b>73</b>

# 1 引言

## 1.1 研究背景

近年来，“双 11”物流速度越来越快，刚付完尾款，就收到取件通知，如此迅速的物流运作在一定程度上或许得益于天猫的预售活动，客户预付定金，同时菜鸟根据其双 11 销售季的销售预测，与它的功能性物流服务提供商进行协商，提前预购物流能力，之后各快递公司提前储备物流服务能力。比如 2020 年“双 11”期间，顺丰为保障此期间的物流供给稳定，提前购置运输车辆，增加员工 1800 人，并增加多个分拣中心来提升物流运作效率。

2020 年疫情期间，顺丰控股集团第一季度盈利 9.07 亿元，而 2021 年第一季度财报显示亏损 9 亿-11 亿元，其中一个主要的原因就是春节期间的人力成本浪费。2021 年春节期间，因为疫情原因全国人民响应政府号召原地过年，顺丰也将大量快递员留在原地加班，春节期间单加班补贴接近 10 亿元，但是订单总量却和往年基本持平，致使快递员工作量不够饱和，增加了公司的成本。

“百度外卖”销声匿迹的一个主要原因就是在 2015 年做出的一个重大战略失误，一方面主张业务扩展，另一方面却在 2016 年的春节，给骑手放假，这直接导致过完年后大量骑手无法正常复工，在很长时间内骑手短缺；而美团外卖的做法却与此相反，其加大对骑手的招聘，订单量增加，并且也在年后正月十五恢复运力。

顺丰控股 2021 年的业绩亏损和百度外卖的消失都表明物流服务能力的储备决策对企业的生存发展是至关重要的，过量的物流服务能力储备会导致各种补贴和成本的上升，而如果物流服务能力储备不足，会失去大量市场机会、市场份额。

近些年来，在全球化竞争和专业化分工的环境下，产品企业为了提升竞争力，占据市场份额，降低非核心业务的运作成本，将自己的物流环节相关业务外包给能提供整体的、全面的物流服务提供商，而这些提供商由于自身能力和地域等条件的限制，所提供的物流服务在满足客户个性化需求上难免吃力，因此具有集成性质的物流服务提供商群体就应运而生，即物流服务集成商，其通过整合物流服务提供商单一的物流服务，向客户提供的物流服务方案具有差异个性化、专业化、

集成化，致力于将分散的物流服务提供商的物流服务资源进行规划整合，譬如将仅提供单一运输服务、仓储服务等企业进行集成，从而形成一张能提供整体物流服务的物流网络，这种以“物流服务提供商—物流服务集成商—物流需求方”为主的物流服务供给关系，即物流服务供应链（LSSC）。

服务作为一种无形的产品，其面临的需求更加复杂，不管是主营物流服务业务的物流企业，还是制造企业下属的物流子公司，都存在整合各方物流资源满足随机变动的物流需求的问题，同样地，针对物流需求的不确定性，物流企业如何提前储备物流能力实现物流能力的供需匹配的研究也非常必要。比如医药、冷链、建筑施工等对物流服务的要求具有一定的特殊性，如果提前投资太多，会造成资源的闲置与浪费，如果投资储备太少，这无疑是一笔巨大的损失。物流服务能力的决策是建立在对未来需求准确把握的基础上，但是由于物流服务自身特殊的无形性和复杂性加大了精准预测市场需求的难度，同时，物流能力供应的稳定性更易受到外界环境的干扰和制约，在这种需求和产出均存在随机扰动的不可预知环境下，对于物流服务供应链节点企业决策而言是一种巨大的挑战，因此，为了提升我国物流企业的竞争力，研究物流服务能力决策优化问题是非常必要的。

## 1.2 研究意义

对于产品供应链的研究已经相对成熟，供应链整体通过调节库存来实现供应链的协调优化，报童模型就是一个典型的产品供应链中库存控制问题，但是物流服务供应链作为一种特殊的供应链，其产品是服务，而服务是无法用库存进行控制的，因此研究物流服务供应链的协调优化问题在一定程度上扩展了供应链的研究领域，据此，本文的研究存在如下两方面的意义：

### （1）理论意义

拓宽物流服务供应链的研究视角，丰富研究成果，以往大多是基于需求随机、能力供给固定的前提下进行的物流服务能力采购量的研究，然而在实际生产生活中，提供商的供给能力也是需要提前进行投资储备的。基于此，本文在博弈论的基础上与系统动力相结合，研究物流服务能力决策的动态演化，并从信息共享的角度的进行优化，以往关于信息共享大多是研究供应链的，对于物流服务供应链

的研究较少，通过本文研究内容在一定程度上可以扩充物流服务供应链研究成果。

## （2）现实意义

为物流服务供应链群体的发展提供具体实践参考。我国物流行业快速发展的同时也产生了一定的问题，譬如，部分企业盲目扩大业务能力，物流资源利用效率低下，企业之间难以实现物流服务的产业化和规模化。本文针对物流服务能力订购量和投资量的具体研究，为其日常决策提供参考依据，同时从信息共享的角度研究能力决策的优化问题，这在一定程度上能够促进物流服务提供商和物流服务集成商之间的交流与合作，增加彼此的信任度，实现资源互用、能力互补、互惠共赢，增强物流企业的实力和竞争力。

## 1.3 国内外研究现状

### 1.3.1 物流服务供应链研究

在现代物流产业的不断发展过程中，涌现出众多的物流组织形态，这也是产业融合和精细化分工的产物，物流企业之间相互合作，互为供需关系来完成市场需求，这种结构就组成了物流服务供应链，对于物流服务供应链的研究也在逐渐深入，成为一个新的研究趋势，但是对于物流服务供应链的定义并没有统一，综合以往研究人员对物流服务供应链的定义<sup>[1-6]</sup>，物流服务供应链就是以集成商为核心企业，通过对物流链条上散置的物流资源进行规划管理，进而为服务对象打造出一体化、多层次、个性化的物流服务方案，该过程涉及对物流、服务流、资金流和信息流的控制。对物流服务供应链的协调优化、可靠性及风险管理是当前国内外学者主要研究领域。

在针对物流服务供应链协调研究中，He 等<sup>[7]</sup>的研究对象为汽车物流服务供应链，其构建了两阶段的能力决策模型，并提出一种基于随机需求和可靠性的回购契约模型，研究结果表明，回购契约对物流服务供应链的协调效果明显；刘伟华<sup>[8]</sup>对物流服务供应链的研究非常系统，运用博弈论从四个方面研究物流服务集成商和物流服务提供商之间的协调关系，包括任务调配、数量协调、质量监督以及利润分配体系；薛海欣<sup>[9]</sup>将服务水平引入物流服务供应链能力订购模型中，并

分别构建单一契约和联合契约协调模型；桂云苗等<sup>[10]</sup>提出一种竞争联盟的决策模式，并证明这种模式能够有效解决需求不确定环境的物流服务供应链协调问题；孟丽君等<sup>[11]</sup>研究集成商占据主导地位时，两个物流服务提供商的契约选择问题，结果表明两种契约的协调作用相同。

物流服务供应链运作管理中对风险的管控及可靠性的问题也很关键，张广胜等<sup>[12]</sup>研究一个集成商和两个供应商组成的物流服务供应链，并假设供应商存在能力供给的风险，研究结果表明，物流服务集成商的能力订购量并不受供应风险的影响；可靠性也是评价物流服务供应链服务水平的一项重要指标，刘艳秋和蔡超<sup>[13]</sup>引入可靠性构建物流服务供应链的优化与协调模型，研究可靠性对物流服务供应链决策的影响。

### 1.3.2 物流服务能力决策研究

物流服务供应链是以能力合作为基础的服务供应链，其高效运作的关键是服务能力的高低，链中各企业也是凭借物流服务能力相衔接。Donald J. Bowersox 和 David J. Clodd<sup>[14]</sup>指出，物流能力是凭借低成本、高竞争优势，为物流服务需求方提供物流服务的一种评价机制；梁雅丽、吴清烈<sup>[15]</sup>和马士华教授<sup>[16]</sup>从物流功能的定位以及对物流服务供应链整体绩效影响的角度入手，从动态和静态两个角度进行分类，静态物流能力表现为物流功能要素的能力，比如运输、仓储、配送、装卸搬运和流通加工等能力，动态物流能力就是指整合集成、系统协调、控制反馈等能力，而这种能力一般表现为物流服务供应链系统的柔性和公共市场响应能力、控制成本能力等动态能力；申文<sup>[17]</sup>所认为的物流要素能力是一种系统所承载的容量能力，这是一种静态能力，比如仓库的容纳量，运输车辆的装载量等。本文所研究的物流服务能力主要指设备、设施、人力等固定资产的静态能力。

在物流服务能力决策及协调方面，王晓立等<sup>[18]</sup>基于分包商供应能力受限的前提，构建三阶段下物流服务能力采购决策模型；刘晓鹤<sup>[19]</sup>建立了两阶段物流服务集成商的最优采购量决策模型，最终求解发现信息更新能够优化集成商的决策策略；付秋芳等<sup>[20]</sup>运用多目标两层规划模型研究服务供应链能力决策问题，运用遗传算法求解，证明服务供应链的协同机制能够实现供应链的优化；宋杰珍等<sup>[21]</sup>基于外部不同的信息环境，研究零售商如何设计合理的契约实现物流服务决策的优



化；王志宏等<sup>[22]</sup>将期权契约引入到物流服务供应链的能力决策博弈模型，研究物流需求确定前的期权采购量和需求确定后的即时采购量，以及提供商的投资额；王一家<sup>[23]</sup>、Liu 等<sup>[24-25]</sup>、朱冬蕾<sup>[26]</sup>作为一个研究团队，均在需求更新的条件下研究两阶段的物流服务集成商的能力采购问题，且都假设物流服务供给量为常量或者无限供给；李剑锋等<sup>[27]</sup>考虑市场需求不确定和集成商风险规避行为，构建物流服务供应链中集成商能力订购量和提供商定价模型；张广胜<sup>[28]</sup>考虑物流服务供应链中存在能力供给价格风险，基于期权契约模型研究现货市场购买和期权购买的混合能力采购策略；郭龙<sup>[29]</sup>分别研究物流服务能力产出不确定、需求不确定以及产出和需求同时不确定三种情境下的物流服务供应链能力决策及契约协调问题；王晓立等<sup>[30]</sup>基于需求和供应不确定的条件下，构建集成式决策和批发价合约两种决策模式下的物流服务供应链采购量和投资量博弈模型，并设计收益共享机制协调双方决策；崔爱平等<sup>[31]</sup>基于物流服务分包商供给无限的前提，对物流服务供应链中能力决策问题进行探究时，分为集成商的订购量和分包商的投资量，并证明期权契约可以对物流服务供应链实现良好的协调；李堃静<sup>[32]</sup>基于期权回购契约研究其对物流服务供应链能力决策的协调作用；程楠<sup>[33]</sup>研究供应和需求均不确定且供应和零售商均风险厌恶的供应链契约协调问题，包括回购—成本损失分担契约、收益共享—成本损失分担契约和成本分担—剩余补偿契约；经有国等<sup>[34]</sup>研究单一集成商和两个相互竞争的供应商的最优决策问题，并证明收益共享契约在一定条件下能实现物流服务供应链的协调优化；李堂奎<sup>[35]</sup>对三级物流服务供应链的服务能力数量协调问题进行研究，并对有无回购契约两种情境下的决策进行对比，结果表明回购契约能使决策更优；袁旭梅等<sup>[36]</sup>同样研究的是物流服务供应链能力决策问题，不同的是在协调契约上进行创新，将期权和回购两种契约进行组合，通过调整契约里的相关参数达到优化的效果；刘舰等<sup>[37]</sup>针对公—铁联运企业的运能问题进行研究，通过纵向合作与惩罚机制来协调。

### 1.3.3 信息共享研究

在如今企业的运作中，各个企业都会产生巨量的信息，反过来，这些信息对于企业而言也是一笔巨大的财富，促进企业的永续发展。谁掌握的有效信息越多，谁在发展中就越具优势，从而在一定程度上掌握市场的话语权。信息共享是指有

合作关系或者双方或多方有交易行为的企业之间通过传递双方信息,促使各方更好决策,保持双方长期稳定合作的行为。

Lee et al<sup>[38]</sup>将信息共享机制引入供应链中解决“牛鞭效应”的问题。目前对于信息共享的研究主要集中于如下两个方面:一是探讨信息共享的价值,并分析其对供应链的绩效影响<sup>[39-40]</sup>;另外就是在供应链中探讨信息共享的激励问题<sup>[41-44]</sup>。

目前有部分学者开始研究服务供应链中的信息共享问题,石园等<sup>[45]</sup>研究的对象为多级社区养老服务供应链,运用系统动力学的方法构建并对比分析社区养老服务供应链基准模型和信息共享模型;官子力<sup>[46]</sup>研究的对象是两级的产品服务供应链,主要研究需求信息共享的激励问题和共享策略;程飞等<sup>[47]</sup>基于需求不确定的条件,研究三种不同的信息传输模式对服务供应链的绩效的影响。在物流服务供应链研究信息共享的问题也在逐渐增多,并且证实信息的不对称在一定程度上导致供应链效率低下。周娴娴<sup>[48]</sup>基于系统动力学理论,构建了两级物流服务供应链的基础模型,并在此基础上引入信息共享机制,并指出信息共享可以缓解物流服务供应链中的“牛鞭效应”;卢安文等<sup>[49]</sup>假设集成商处于信息劣势,提供商处于信息优势的情境,考虑信息技术会影响信息共享策略入手,研究集成商的信息共享激励问题,构建收益分享激励模型和固定报酬激励模型,最终得出收益分享激励能够有效实现帕累托改进。

### 1.3.4 文献述评

综上,已有文献对物流服务供应链的研究,大多基于物流服务能力展开研究,能力合作协调在物流服务供应链运营中占有非常重要地位。

目前较多的文献集中于需求不确定环境下研究物流服务能力采购问题,能力决策环节中单考虑物流服务集成商的能力采购量,而提供商所能提供的物流服务数量仅仅作为约束条件而不是决策变量,可见在对物流服务能力的研究中,重点往往放在如何在正常运作的情况下,即在有限的能力下,或假设物流服务提供商的能力是无限的,能够满足集成商的所有订单量,通过分配现有的订单或者通过调整价格来满足需求(订单分配),但在实际的企业运作管理中,尤其在物流需求的旺季,提供商的物流服务能力难免存在供应不足的现象。另外,国

内外学者对物流服务供应链中物流服务能力的决策策略的制定仅针对于单周期或者两周期，对于多周期的决策策略的研究较少，其能力决策的协调机制也都从契约协调的角度开展的，那么多周期下的能力决策协调优化从信息共享角度入手也是值得研究的。

因此本文也基于两级物流服务供应链为研究主体，分析其物流能力决策策略，并将决策变量分为集成商的能力订购量和提供商的能力投资储备量，将之扩展到多周期动态的决策，分析能力决策随时间演化的趋势，从中发现问题并解决问题是非常有必要研究的。

## 1.4 研究内容及结构

### 1.4.1 研究内容

针对目前在物流服务供应链领域所研究的不足之处，本文的主要研究内容如下：

#### (1) 单周期静态博弈下的物流服务供应链能力决策研究

基于物流服务能力产出和需求均存在随机扰动的前提，构建单周期静态博弈下物流服务供应链能力决策模型，研究各自收益最大化条件下的决策策略，并比较决策变量之间的关系以及相关参数对能力决策的敏感性分析。

#### (2) 多周期动态博弈下的物流服务供应链能力决策研究

基于上一部分得到的静态均衡解与系统动力学相结合，构建系统动力学基础模型，研究均衡解的演化过程，得出物流服务能力决策量的相关关系，并从物流服务能力决策量（物流服务能力订购量和物流服务能力投资储备量）、物流服务能力持有量和牛鞭效应值三个维度来证明物流服务供应链中是否存在牛鞭效应。

#### (3) 基于信息共享的物流服务供应链能力决策优化研究

构建能力决策信息共享模型，并与基础模型进行对比分析，得出相应结论。然后基于演化博弈理论，构建信息共享行为的演化博弈模型，并在模型中考虑影响决策者信息共享行为选择的相关因素，并分析演化稳定策略，以及与相关参数的关系，最后通过 Vensim 软件仿真证明相关结论。

### 1.4.2 论文框架图

论文的整体框架如图 1.1 所示。

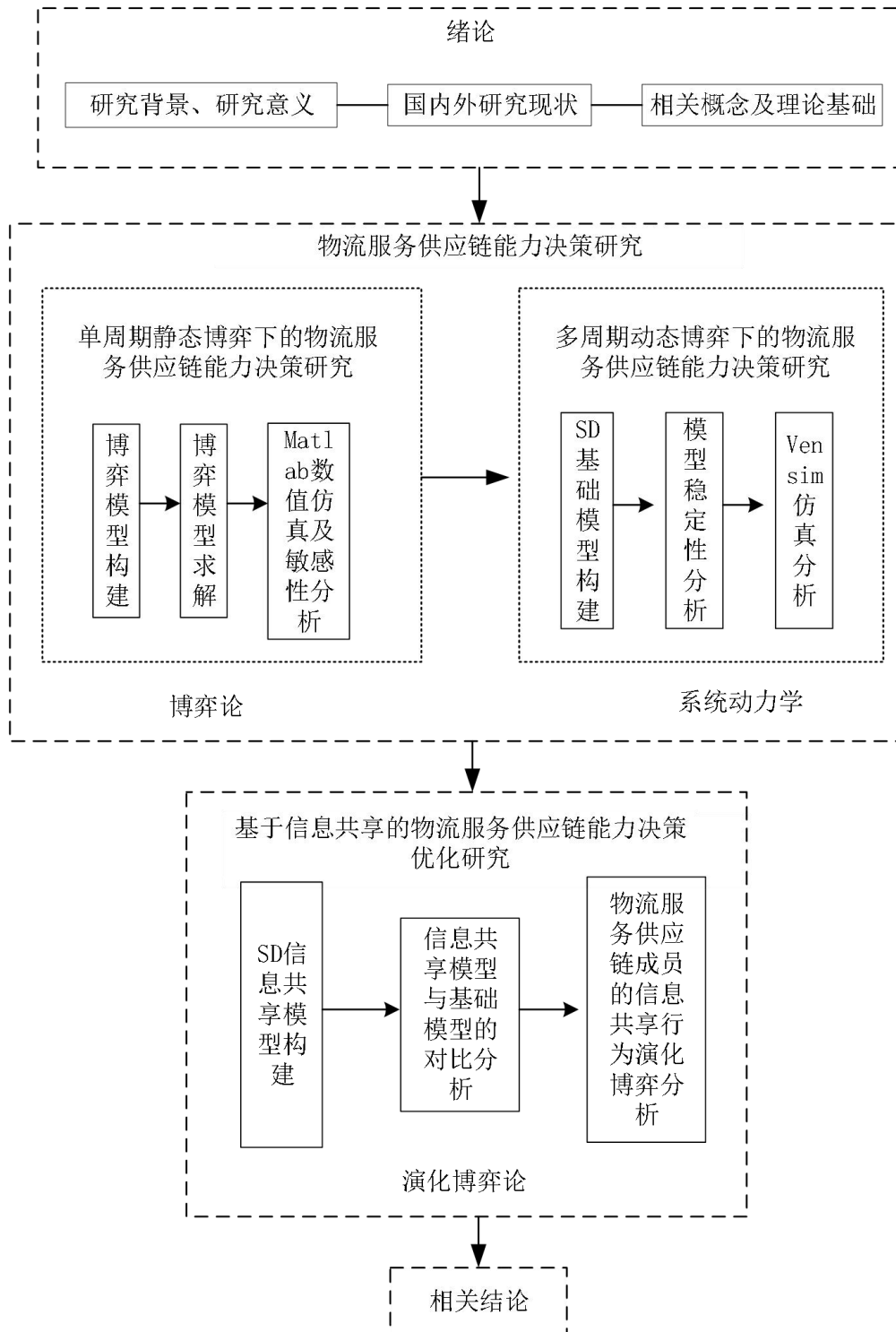


图 1.1 论文框架图

### 1.4.3 论文结构

第一章：引言。本章论述了本论文的研究背景及研究意义，引出物流服务供应链能力决策的必要性，从物流服务供应链、物流服务能力决策、信息共享三个角度概括国内外研究现状，通过对现状的剖析，指出当前研究仍需改进的部分，进一步阐述本篇文章的研究内容框架，并对两个创新点进行论述。

第二章：相关概念及理论基础。通过对物流服务供应链、物流服务能力、系统动力学理论和博弈论进行阐述，为后续物流服务供应链能力决策优化问题的研究部分提供理论支撑。

第三章：单周期静态博弈下的物流服务供应链能力决策研究。构建单周期物流服务供应链能力决策博弈模型，并求解分析两个能力决策值之间的关系以及和相关参数的敏感性分析。

第四章：多周期动态博弈下的物流服务供应链能力决策研究。基于单周期博弈均衡解，构建系统动力学基础模型，分析能力决策变量的动态演化趋势，并分析其中存在的问题。

第五章：基于信息共享的物流服务供应链能力决策优化研究。结合信息共享机制，构建系统动力学信息共享模型，并与基础模型进行对比研究，最后基于演化博弈论分析物流服务供应链成员的信息共享行为，在一定程度上能够优化能力决策。

第六章：结论与展望。对研究理论和成果进行概括和总结，给出物流服务供应链能力决策优化的建议，并指出当前研究论文存在的不足，以及指出未来还可以深入研究的内容。

## 1.5 创新点

(1) 以往对物流供应链能力决策侧重于将物流服务供给量视为定值或者约束条件，对物流服务能力投资量问题的研究较少涉及，本文基于需求和能力产出均存在随机扰动的前提，将物流服务能力决策量分为能力投资量和能力订购量，研究能力决策值的相关问题，并从信息共享的角度入手对物流服务供应链能力决

策进行优化,考虑到决策者是有限理性的,将决策者不同的风险厌恶度即风险因子考虑到信息共享行为演化博弈模型中。

(2) 将博弈论与系统动力学相结合,将单周期静态能力决策拓展至多周期动态决策来研究能力决策变量的演化过程,拓展研究的时间维度,将代数解析法精确性的优势与系统动力学因果反馈以及多周期决策的优势相结合,在方法应用上具有一定的创新。

## 1.6 本章小结

本章开头部分阐述了该论文的研究背景及意义,并通过分析得出物流服务供应链能力决策优化的必要性,从物流服务供应链、能力决策、信息共享三个角度出发对国内外研究现状进行了论述,并总结当前可以深入研究的内容,之后对论文的研究内容和框架结构进行了系统论述,最后阐述本论文的两个创新点。

## 2 相关概念及理论基础

本文主要的研究内容分为单周期静态博弈下的物流服务供应链能力决策、多周期动态博弈下的能力决策及从信息共享的角度来研究其对决策的优化,剖析物流服务供应链节点企业的信息共享行为转变,该部分内容从物流服务供应链、系统动力学、博弈论三个方面介绍相关概念和理论基础。

### 2.1 物流服务供应链

近年来在国内研究界产生了一个新的研究方向物流服务供应链(LSSC),产业链融合、市场竞争和专业化分工导致现代物流产业向不同的物流组织形态进化发展。伴随着物流服务外包水平的专业化、复杂化、整体化,以满足服务对象的需求作为物流组织的出发点和方向,进而形成相互依赖的良性供给需求关系,这种多层级的供需关系就构成了物流服务供应链。

从学术角度而言,功能性物流服务提供商和物流服务集成商这两个概念更能概括物流服务运作的特征—功能和集成。功能提供商强调为顾客提供基础的物流服务活动,集成商侧重为顾客提供整条供应链的解决方案。功能型物流服务提供商处于物流服务供应链的上游,集成商处于物流服务供应链的下游。

借鉴国内外学者对物流服务供应链成员的具体内涵进行如下区分:

首先,物流服务功能提供商(FLSP),在本文中简称为提供商,主要是指传统的物流组织,其拥有自己的物流服务基础设施,经营一项或多项物流业务,涵盖物流的各功能模块,如运输、仓储、装卸搬运、信息处理、包装等基本的业务,这类企业拥有自身的物流资源,集成化程度相对较低;其次,物流服务集成商(LSI),本文中简称为集成商,概念是在研究企业外包时物流服务提供商选择问题时提出来的,集成商主要是指一些大型的、集成化程度高的,能够为客户提供集成化物流解决方案的企业。蔡云飞和邹飞<sup>[50]</sup>认为强大的物流信息系统和管理能力是一个集成商本身所具备的两种能力,集成商将不同的物流服务提供商的物流资源进行管理整合,进而可以为服务对象提供更具体的物流解决方案。

总之,由提供商—集成商—客户组成的稳定供需关系便组成了典型的两级物流服务供应链,如图 2.1,物流集成商提供具有整合性质的物流服务,提供商提

供单一的功能型的物流服务，双方优势互补，满足客户群的物流服务需求。多级物流服务供应链的特征是涉及多个主体，比如多级的物流服务分包商和多个物流服务集成商和提供商，功能性供应商依旧在供应链的顶端，集成商也依旧为供应链的核心主体，分包商和提供商相互合作共同满足客户的物流需求。

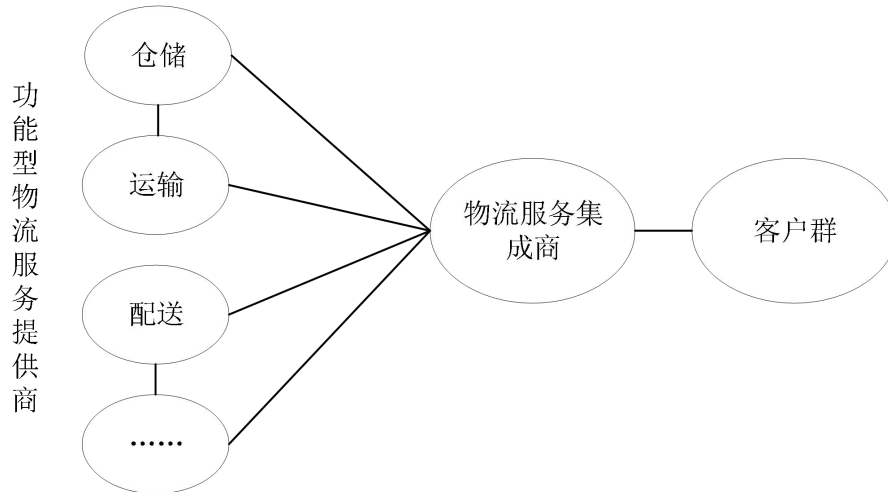


图 2.1 物流服务供应链的两级结构

## 2.2 系统动力学

系统动力学（System Dynamics）简称 SD。强调将系统各个环节各个要素进行连接，从系统内的各个要素间来寻找产生问题的原因，而这种特质也证明是适用于研究具有复杂性、动态性和反馈性的系统。系统动力学主要通过对现实系统进行模拟，对各个变量仿真分析，学者们将系统动力学应用于各个领域的研究，如能源规划与能源政策效果研究、环境影响分析与保护措施研究、水资源调配与保护、企业战略制订与运营管理、物流与供应链决策与管理、医疗机构运营与疾病传播机制研究、公共行政政策效果预测及分析和技术创新机制与评价研究等多个方面<sup>[53]</sup>。

系统动力学的建模具体过程分为构建因果关系图、流图、模型测试和仿真模拟等。

### （1）因果关系图及流图



因果关系图是由错综复杂的因果链组成，对变量之间的定性关系进行分析说明，有正极性和负极性之分，图中箭头所表示的是因果关系，若 A 变量的箭头指向 B 变量，则代表 A 变量是自变量，B 变量为因变量，B 变量随 A 变量的变化而改变；通过对因果关系图的完善便得到了流图，流图中包含各种类型的变量，包括状态变量，如文中的物流服务能力持有量，用来表示系统中流的动态积累状态；速率变量如物流服务能力消耗量和能力产出量，用来表示状态变量的流入流出速度；常量如批发价等，用来表示用于表达系统的标准和影响因子等。

### （2）模型测试

为了保证模型建立的有效性，可以从多个维度进行测试以发现模型存在的不足从而优化模型，目前研究领域已存在多种测试的方法，包含极端条件测试、量纲一致性测试、敏感性测试等，但在实际应用过程中，只需根据模型的特征选择相对重要的方面进行测试即可。

### （3）仿真模拟

常见的系统动力学仿真软件有 Vensim、Anylogic、Powersim 和 Simpack 等，Vensim 软件是一款致力于系统动力学仿真的软件，基于系统建模，操作简单易上手、仿真结果直观、功能齐全，还可以对相关参数进行灵敏度分析。

## 2.3 博弈论

博弈论，又叫对策论，不仅是一种方法更是一种数学理论，常用来研究和分析现实中的竞争现象，并分析其优化策略，国内外学者将这一理论应用于各个方面，如今博弈论也已经发展的相对成熟。

### 2.3.1 斯塔克伯格（Stackelberg）博弈

斯塔克伯格博弈，也称为主从博弈，是博弈论中一个典型的分支，它的典型特征就是存在地位上的不平等，存在“领导者”和“追随者”，领导者存在决策上的优势，主要决策顺序就是：领导者先行制定自己的订购和生产等策略，而追随者根据领导者的决策做出反馈，这样一种决策机制就是领导者在做出自身决策时，会预判追随者的行为决策，从而提前做出反应，最终达到均衡，而这种不平等的博弈就被称为斯塔克伯格博弈。

### 2.3.2 演化博弈论

假定参与者是完全理性的，而且参与人是在一个完全信息环境下进行活动的，这就是我们常说的传统博弈理论。但是，现实中这种假设往往不切实际。从21世纪开始，国内的专家开始对演化博弈论进行研究，其核心观点认为决策主体要想达到博弈均衡必须要通过试错的方式，进而不断的修改和调整，将演化的思想和博弈论相互融合。率先应用演化博弈理论的学科是生物学，研究者们将演化论和博弈论结合在一起进行探究，与此同时还提出了演化稳定策略（Evolutionary Stable Strategy, ESS）<sup>[54]</sup>和复制者动态方程（Replicator Dynamics）<sup>[55]</sup>这两个概念。

当一个集合中的所有要素都同步的倾向于选择同一个策略，同时各个要素还具有高度稳定性不会受到其他策略的影响，那么这个集合就进入到了演化稳定状态。演化稳定策略的性质属于稳定且静态的，但是如果和演化博弈理论结合在一起，那么它的稳定就是动态的。

随着时间的延长，组合中的要素会增加对某一确定策略的选择，该过程表示的变化率就是复制动态方程所要诠释的。变化率的正负性分别表示不同的概念，如果变化率为正，说明随着时间的增加，选择某一确定策略的要素也会增加，反之，则会减少。群体、收益矩阵、动态、平衡这是构成演化博弈的组成元素。各个相互独立的要素组成了群体，群体内各个要素收益差异性取决于各个要素的策略选择，收益矩阵是指各个群体在不同策略选择下所构成的收益。演化博弈是一个不断完善和调整的过程，当达到均衡状态时系统便停止变化，但是这种稳定状态具有静态和动态两种。

进行演化博弈分析的步骤包含：（1）首先根据决策主体的行为选择构建每种策略下的收益矩阵，根据每种策略选择概率分析其期望收益和平均期望收益；（2）根据期望收益和平均期望收益，建立决策主体随时间变化的复制动态方程；（3）求解复制动态方程，找出系统均衡解；（4）根据复制动态方程，建立雅可比矩阵，并根据雅可比矩阵的秩和行列式的正负判定所有均衡点是否是动态稳定点。

## 2.4 本章小结

本章对研究所涉及的内容所依据的概念和理论进行了相应的整理分析。首先论述物流服务供应链所具备的特征性质，随后对系统动力学进行介绍，并重点介绍博弈论中的典型的斯塔克伯格博弈和演化博弈，为后面内容的展开提供参考和理论依据。

### 3 单周期静态博弈下的物流服务供应链能力决策研究

在物流行业的具体运作管理中，总是会存在众多不确定的现象，本文从供需两个角度进行分析：一是能力供给的不确定，即物流服务提供商在实际运作过程中，受到天气或者突发状况、生产调配能力以及物流运作过程中不可控因素的影响，导致其产出总是存在一定的随机扰动风险，在此引入物流服务提供商的随机投入产出函数<sup>[29]</sup>；二是物流需求的不确定，作为一种服务产品，难以精准的衡量，也就加大对需求预测的难度，存在高度的不确定性。

针对物流物流服务能力需求和产出均存在随机扰动的环境，本章以单一的提供商和单一的集成商组成的两级物流服务供应链为研究对象，研究两级物流服务供应链中双方的能力决策问题，如图 3.1 所示。

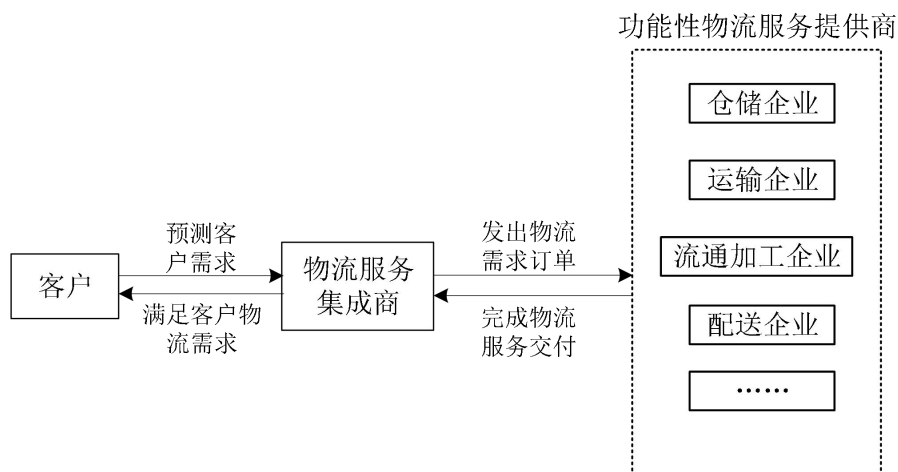


图 3.1 物流服务供应链运作过程

#### 3.1 问题描述

考虑一个面临物流服务能力产出存在随机扰动的功能性物流服务提供商（FLSP）和一个面临随机需求的物流服务集成商（LSI）所构成的单周期两级物流服务供应链，二者均在提前期内进行能力决策，假设提供商仅给予集成商一次能力订购的机会，并且提供商也不会因为产出的不确定而进行二次能力投资储备（调度或生产）。在研究过程中，考虑到集成商与终端市场客户接触较为紧密，掌握较多的信息，因此集成商为 stackelberg 博弈模型的领导者，其具有先动优势，

提供商为追随者。集成商面临的市场需求  $X \geq 0$  是一个随机变量，分布函数和密度函数分别为  $F(x)$  和  $f(x)$  ( $x \geq 0$ )；提供商面临的产出因子  $z \in (a, b)$ ，( $0 < a < b < 1$ )，是一个随机变量。

提前期期初时，集成商根据以往的销售经验首先预测下一周期的物流需求，并以批发价格  $w$  向提供商提出物流服务能力订购量  $Q$ ；提供商根据集成商的能力订购订单决定物流能力的投资储备量  $L$ ，受随机产出因子的影响，最终交付于集成商的物流服务能力为  $zL$ ，见图 3.2。

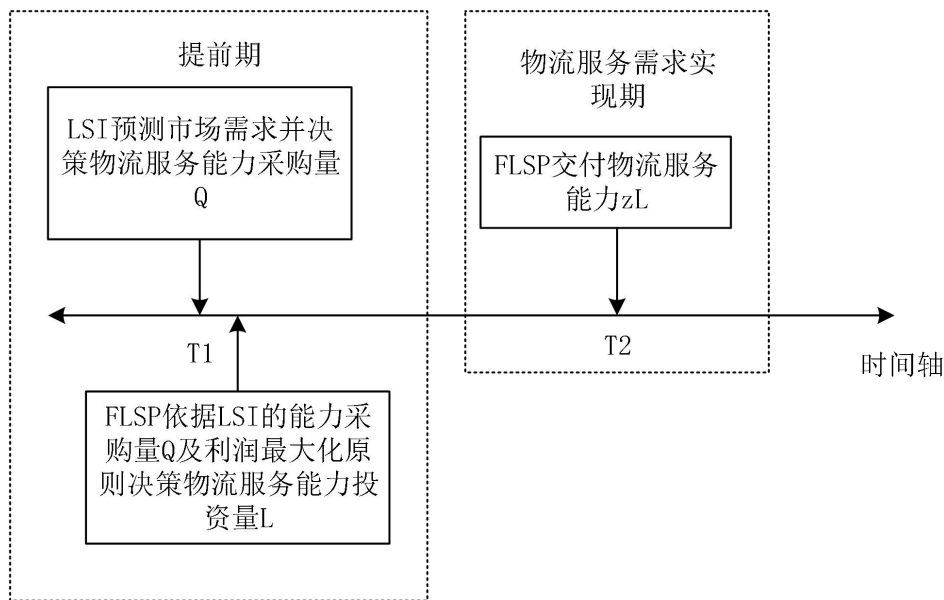


图 3.2 单周期下物流服务供应链能力决策过程

## 3.2 相关假设及符号说明

### 3.2.1 相关假设

(1) 由于模型构建所涉及参数众多，为了简化求解过程，假设本文中的市场需求和产出随机因子均服从均匀分布；

(2) 物流服务集成商与提供商均为完全理性行为决策者，即根据自身利润最大化原则进行决策；

(3) 为了对所研究中各个环节中的物流服务能力进行定量化研究，因此假设一单位的物流服务能力能满足一单位物流服务需求；

(4) 假设物流服务集成商的主要功能是集成商物流服务，自身并没有直接产出物流服务能力，其物流服务全部是向提供商采购所得，并假设集成商和提供商初始物流服务能力持有量为零<sup>[31]</sup>。

### 3.2.2 符号说明

$Q$ ：集成商的能力订购量，为其决策变量

$L$ ：提供商的能力投资储备量，为其决策变量

$z$ ：提供商关于物流服务能力投资储备量的随机产出因子， $z$ 在 $[a,b](0 < a < b < 1)$ 上服从均匀分布，其累计概率密度函数和分布函数分别为 $\varphi(z)$ 和 $\Phi(z)$

$zL$ ：提供商根据投资储备量得到的关于物流服务能力的实际产出数量，是物流服务供应链投资储备数量的随机函数

$X$ ：物流服务集成商面临的客户物流服务需求，其累计概率密度函数和分布函数分别为 $f(x)$ 和 $F(x)$

$w$ ：单位物流服务能力的批发价格

$s_1$ ：集成商的单位服务能力缺失成本

$s_2$ ：提供商实际交付能力不足时，集成商对提供商的单位惩罚

$v$ ：剩余物流服务能力的单位处置残值

$p$ ：物流服务集成商单位服务售出价格

$c$ ：提供商单位物流服务能力投资成本

$\Pi_F(L)$ ：提供商的期望利润

$\Pi_I(L)$ ：集成商的期望利润

参数之间的基本关系如下：

(1)  $p > w > c / \mu_z > c > v$ ：保证集成商与提供商都有利可图，且防止提供

商和集成商存在套利行为；

(2)  $v < s_i, i = 1, 2$ ：为保证集成商、提供商能够优先满足需求，而非将服务以单位残值价格处理掉。

### 3.3 模型构建与求解

基于目前学术界所常见的情境展开研究，本节分别构建集中决策和分散决策两种情境下的物流服务提供商和物流服务集成商的收益模型，研究物流服务能力决策的相关内容。

#### 3.3.1 集中决策

集中决策下，集成商和提供商作为一个整体进行决策，由物流服务供应链中的领导者即集成商以整体收益最大化原则决策物流服务能力投资量，角标  $c$  代表集中决策情境。

集中决策下物流服务供应链整体的期望利润如下：

$$\pi_c = p \min(x, zL_c) - cL_c - s_1(x - zL_c)^+ + v(zL_c - x)^+ \quad (3.1)$$

式中，第一项表示物流服务供应链整体的总销售收入；第二项表示当物流服务能力投资量为  $L$  时供应链整体的总成本；第三项表示实际的能力产出量小于市场需求时物流服务供应链整体的能力缺失成本；第四项表示当实际的能力产出量大于市场需求时所剩余服务能力的总残值。

集中决策下物流服务供应链整体的期望利润函数可化简为：

$$E(\pi_c) = \int_a^b \int_0^{zL_c} (p + s_1 - v)(x - zL_c) f(x) \varphi(z) dx dz - s_1 \mu_x - cL_c + (p + s_1) \mu_z L_c \quad (3.2)$$

结论 1 集中决策下提供商的最优能力投资量  $L_c^*$  满足等式：

$$\int_a^b z[1 - F(zL_c^*)] \varphi(z) dz = \frac{c - v\mu_z}{p + s_1 - v} \quad (3.3)$$

证明：期望利润函数  $E(\pi_c)$  对  $L_c$  求一阶导为：

$$\frac{\partial E(\pi_c)}{\partial L_c} = (p + s_1) \mu_z - c - \int_a^b \int_0^{zL_c} (p + s_1 - v) z f(x) \varphi(z) dx dz$$

$$=(p+s_1)\mu_z - c - \int_a^b (p+s_1-v)zF(zL_C)\varphi(z)dz$$

期望利润函数  $E(\pi_C)$  对  $L_C$  求二阶导为:

$$\frac{\partial^2 E(\pi_C)}{\partial L_C^2} = -\int_a^b (p+s_1-v)z^2 f(zL_C)\varphi(z)dz < 0$$

由二阶导数小于零, 可知  $E(\pi_C)$  是  $L_C$  的凹函数, 因此, 令一阶导数为 0, 可得提供商的最优能力投资量  $L_C^*$  满足式 3.3, 因此结论 1 得证。

由等式 (3.3) 及隐函数定理可得如下敏感性分析结论。

$$\text{推论 1 } \frac{\partial L_C^*}{\partial p} > 0, \frac{\partial L_C^*}{\partial s_1} > 0, \frac{\partial L_C^*}{\partial v} > 0, \frac{\partial L_C^*}{\partial c} < 0, \text{ 即集中决策下整个}$$

物流服务供应链的最优能力投资量随着服务的单位零售价  $p$ 、单位能力缺失成本  $s_1$ 、单位残值  $v$  的增加而增加; 随着单位投资成本  $c$  的增加而减少。

### 3.3.2 分散决策

集成商作为主导者, 提供商作为追随者, 双方决策过程构成 Stackelberg 博弈, 由集成商首先确定物流能力订购量, 随后提供商根据集成商的订购量决定能力投资储备量的大小, 通过逆向归纳法求解, 第一步先求提供商的能力投资量, 用角标  $D$  来代表分散决策情境。

(1) 提供商的最优能力投资量决策

首先提供商根据期望利润最大化原则确定最优的物流服务能力投资量  $L_D^*$  :

提供商的期望利润  $\Pi_{DF}(L_D)$  为:

$$\Pi_{DF}(L_D) = w \min(Q, zL_D) - cL_D - s_2(Q - zL_D)^+ + v(zL_D - Q)^+ \quad (3.4)$$

第一项为物流服务能力的销售收入, 第二项为物流服务能力的投资成本, 第三项为当提供商提供的能力无法满足集成商订购量时, 集成商对其的惩罚成本, 第四项为能力剩余时的处置收益。

化简为

$$\Pi_{DF}(L_D) = \int_a^{\frac{Q}{z}} (w+s_2-v)(zL_D-Q)\varphi(z)dz + wQ + v(\mu_z L_D - Q) - cL_D \quad (3.5)$$



结论 2 分散式决策下提供商的最优生产投入量  $L_D^*$  满足等式:

$$\int_a^{\frac{Q}{L_D^*}} z\varphi(z)dz = \frac{c - v\mu_z}{w + s_2 - v}$$

证明: 通过式 3.5 提供商利润函数对  $L_D$  求导:

$$\text{一阶导为: } \frac{\partial \pi_{DF}(L_D)}{\partial L_D} = (s_2 - v) \int_a^{\frac{Q}{L_D}} z\varphi(z)dz + v\mu_z - c$$

$$\text{二阶导为: } \frac{\partial^2 \pi_{DF}(L_D)}{\partial L_D^2} = (s_2 - v) \frac{Q}{L_D} \varphi\left(\frac{Q}{L_D}\right) \left(-\frac{Q}{L_D^2}\right) < 0$$

因此存在最优的  $L_D^*$  使得提供商期望利润最大化。

通过令  $\frac{\partial \pi_{DF}(L_D)}{\partial L_D} = 0$ , 求解得到:

$$\int_a^{\frac{Q}{L_D^*}} z\varphi(z)dz = \frac{c - v\mu_z}{w + s_2 - v} \quad (3.6)$$

因此结论 2 得证。

另外, 由等式中的  $\frac{Q}{L_D^*}$  可以进一步得出, 提供商的最优能力投资量  $L_D^*$  的值随着集成商的订购量  $Q$  的变动而变动, 因此可得提供商的能力投资量  $L_D^*$  是集成商订购量  $Q$  的反应函数。

推论 2 分散决策下提供商的能力投资量与集成商的订购量呈线性递增关系。

证明: 由隐函数定理, 对式 (3.6) 两边对  $Q$  求导可得:  $\frac{\partial L_D^*}{\partial Q} = \frac{L_D^*}{Q} > 0$

证明过程如下:

$$\int_a^{\frac{Q}{L_D^*}} z\varphi(z)dz = \frac{c-v\mu_z}{w+s_2-v}$$

$$\text{即 } \frac{1}{b-a} \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{Q}{L_D^*} \right)^2 - a^2 \right] = \frac{c-v\mu_z}{w+s_2-v}$$

$$\text{即 } \left( \frac{Q}{L_D^*} \right)^2 = 2(b-a) \frac{c-v\mu_z}{w+s_2-v} + a^2$$

$$\text{即 } \frac{Q}{L_D^*} = \sqrt{2(b-a) \frac{c-v\mu_z}{w+s_2-v} + a^2} = \sqrt{\frac{2(b-a)(c-v\mu_z) + a^2(w+s_2-v)}{w+s_2-v}}$$

$$\text{因此, } L_D^* = \sqrt{\frac{w+s_2-v}{2(b-a)(c-v\mu_z) + a^2(w+s_2-v)}} Q$$

进一步得:  $\frac{\partial^2 L_D^*}{\partial Q^2} = \frac{1}{Q} \frac{\partial L_D^*}{\partial Q} - \frac{L_D^*}{Q^2} = 0$ , 二阶导为 0, 因此可知一阶导为一常

数, 即  $\frac{\partial L_D^*}{\partial Q} = \frac{L_D^*}{Q} = M$

引入订购—投资储备系数  $M$ , 令  $L_D^* = MQ$ , 即  $\frac{Q}{L_D^*} = \frac{1}{M}$ , 且

$$M = \sqrt{\frac{w+s_2-v}{2(b-a)(c-v\mu_z) + a^2(w+s_2-v)}}$$

推论 3 从  $M$  的表达式中可以明显的看出, 能力订购—投资储备系数除了受  $w, s_2, v, c$  的影响外, 也受产出率的影响,  $\mu_z$  越大,  $M$  越大,  $\sigma_z$  (式子中由  $(b-a)$  的变化可以代表  $\sigma_z$ ) 越大,  $M$  越小。

因此可知分散决策下能力订购—投资储备系数为一固定常数, 即提供商的能力投资量和集成商的订购量为一固定常数的线性关系, 又一阶导大于零, 因此可知提供商的能力投资量与集成商的能力订购量呈线性递增关系。很显然, 当集成商订购量增加时, 提供商为了满足集成商的订购需求以使自身获得更高的收益, 提供商也会增加其能力的投入。

推论 4 相关性分析结论:  $\frac{\partial L_D^*}{\partial v} > 0, \frac{\partial L_D^*}{\partial w} < 0, \frac{\partial L_D^*}{\partial s_2} > 0, \frac{\partial L_D^*}{\partial c} < 0$

分散决策下, 提供商的最优能力投资量除受集成商的能力订购量的影响外, 还随着单位能力残值、集成商对提供商的单位惩罚成本的增加而增加, 随着单位

物流服务的批发价、投资成本的增加而减小。

## (2) 集成商的最优能力订购决策

在第二步，求解集成商的最优能力订购量：

集成商的期望利润：

$$\begin{aligned} \Pi_{DI}(Q, L_D^*) = & pE \min(Q, x, zL_D^*) - w \min(Q, zL_D^*) - s_1 \{x - \min(Q, zL_D^*)\}^+ \\ & + s_2 (Q - zL_D^*)^+ + v [\min(Q, zL_D^*) - x]^+ \end{aligned} \quad (3.7)$$

第一项为提供物流服务能力销售收入，第二项为购买物流服务的成本，第三项为集成商能力不足时的损失成本，第四项为当提供商提供的能力无法满足集成商订购量时集成商对其的惩罚收入，第五项为集成商在满足市场需求后剩余服务的总残值。

集成商的期望利润函数可化简为：

$$\begin{aligned} E(\pi_{DI}) = & \int_a^{\frac{Q}{L_D^*}} \int_0^{zL_D^*} (p + s_1 - v)(x - zL_D^*) f(x) \varphi(z) dx dz + \int_a^Q (p + s_1 - v)(x - Q) f(x) dx \\ & - \int_a^{\frac{Q}{L_D^*}} \int_0^Q (p + s_1 - v)(x - Q) f(x) \varphi(z) dx dz + \\ & \int_a^{\frac{Q}{L_D^*}} (p + s_1 - s_2 - w)(zL_D^* - Q) \varphi(z) dz + (p + s_1 - w)Q - s_1 \mu_x \end{aligned} \quad (3.8)$$

结论 3 分散式决策下集成商的最优订购量  $Q^*$  满足等式：

$$\begin{aligned} (p + s_1 - v)F(Q^*) - \int_a^{\frac{Q^*}{L_D^*}} (p + s_1 - s_2 - w) \left[ z \frac{\partial L_D^*}{\partial Q} \Big|_{Q=Q^*} - 1 \right] \varphi(z) dz \\ + \int_a^{\frac{Q^*}{L_D^*}} (p + s_1 - v) \left[ zF(zL_D^*) \frac{\partial L_D^*}{\partial Q} \Big|_{Q=Q^*} - F(Q^*) \right] \varphi(z) dz = p + s_1 - w \end{aligned} \quad (3.9)$$

证明如下：对式 (3.8) 求导

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(\pi_{DI})}{\partial Q} = & \int_a^{\frac{Q}{L_D^*}} \int_0^Q (p + s_1 - v) f(x) \varphi(z) dx dz - \int_a^{\frac{Q}{L_D^*}} \int_0^{zL_D^*} (p + s_1 - v) z \frac{\partial L_D^*}{\partial Q} f(x) \varphi(z) dx dz \\ & - \int_0^Q (p + s_1 - v) f(x) dx + \int_a^{\frac{Q}{L_D^*}} (p + s_1 - s_2 - w) \left[ z \frac{\partial L_D^*}{\partial Q} \Big|_{Q=Q^*} - 1 \right] \varphi(z) dz + (p + s_1 - w) \\ \frac{\partial^2 E(\pi_I)}{\partial Q^2} = & (p + s_1 - v) f(Q) \left[ \Phi\left(\frac{Q}{L_D^*}\right) - 1 \right] - \int_a^{\frac{Q}{L_D^*}} (p + s_1 - v) \left( \frac{\partial L_D^*}{\partial Q} \right)^2 z^2 f(zL_D^*) \varphi(z) dz \end{aligned}$$

由  $p + s_1 - v > 0$  易知二阶导小于零，表明  $E(\pi_I)$  是  $Q$  的凹函数，令  $\frac{\partial E(\pi_{DI})}{\partial Q} = 0$ ，可得分散式决策下集成商的最优订购量  $Q^*$  应满足式 3.9。

推论 5  $\frac{\partial Q^*}{\partial p} > 0, \frac{\partial Q^*}{\partial s_1} > 0, \frac{\partial Q^*}{\partial s_2} > 0, \frac{\partial Q^*}{\partial v} > 0, \frac{\partial Q^*}{\partial w} < 0$ ，即集成商的最优订购量

随着单位物流服务的零售价、集成商单位能力缺失成本、集成商对提供者的单位物流服务惩罚成本以及单位剩余能力残值的增加而增加，随着单位批发价的增加而减少。

### 3.4 数值分析

由前面的命题可以看出，提供者的最优能力投资储备量和集成商的最优订购量满足的等式条件较为复杂，无法直接求出解析解，为了能够弥补我们模型结果的不足，本节将通过数值分析来进行进一步地验证，对各参数赋值，确定需求量和能力产出因子的概率分布，使用 Matlab 软件仿真相关参数对物流服务能力决策的影响，最后得出的结论可用于给实业界的决策者提供理论支持和决策参考。

随机市场需求量  $X$  服从  $[0,1000]$  的均匀分布，则随机需求  $X$  的均值为：

$E(x) = \mu_x = 500$ ， $X$  的概率密度分布函数为： $F(x) = \frac{x}{1000}$ ， $x$  的概率密度函数为： $f(x) = \frac{1}{1000}$ 。参考相关资料<sup>[29, 56]</sup>以及符合模型中需满足的约束条件，将各参数赋值如下：

$$p = 20, w = 13, s_1 = 2, s_2 = 2, v = 1, \mu_z = 0.65, \sigma_z = 0.06$$

本论文研究的是关于物流服务能力决策的问题，因此在本小节中重点仿真相关参数对  $Q, L$  的影响。

从图 3.3 和图 3.4 可以看出，在集成商能力缺失的机会成本  $s_1$  和能力缺失时集成商对提供者的惩罚成本  $s_2$  不断增加时，物流服务能力订购量  $Q$  和物流服务能力投资储备量  $L$  都呈现不断上升的趋势，并且能力的决策受  $s_2$  的影响明显大于受  $s_1$  的影响。另外，随着  $s_2$  的增加， $Q$  和  $L$  之间的差距有明显的扩大趋势。因此，

物流服务提供商在进行决策时,要根据集成商的单位惩罚成本合理制定自己的投资量,以免自身受损。

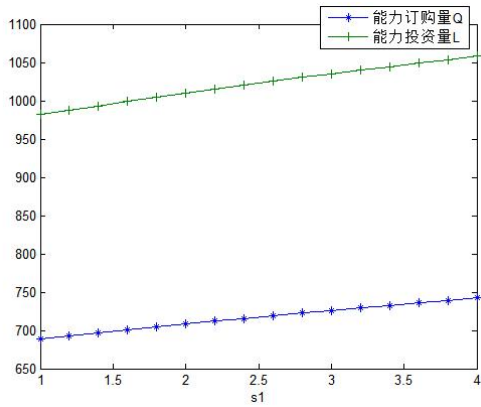


图 3.3  $s_1$  对能力决策量的影响

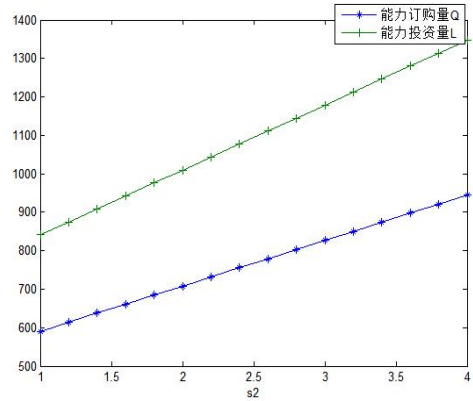


图 3.4  $s_2$  对能力决策量的影响

在图 3.5 中,在其他条件一定的前提下,随着物流服务单位批发价格  $w$  的上升,能力订购量  $Q$  和能力投资量  $L$  都呈现下降的趋势,这表明,批发价的上升会增加集成商的订购成本,因此集成商会适当地减少订购量  $Q$ ,提供商接收到集成商的订单后,也会相应地减少能力的投资。随着批发价的上升,  $Q$  和  $L$  之间的差距在缩小。相比较集成商而言,批发价对提供商的能力投资决策影响会更大,这是因为批发价的高低将直接关系到提供商的收益,因此提供商对批发价的变动会更加敏感。

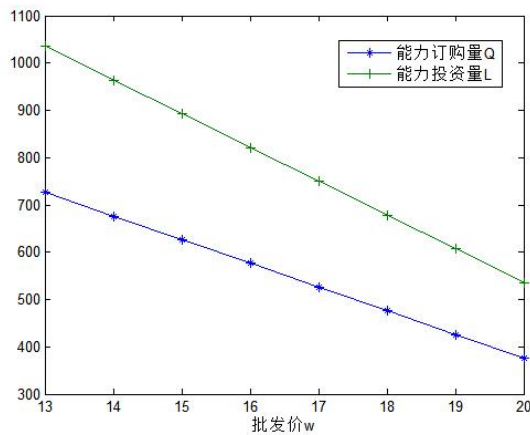


图 3.5  $w$  对能力决策量的影响

在其他条件一定的前提下,随着物流服务单位零售价 $p$ 的上升,能力订购量 $Q$ 和能力投资量 $L$ 都呈现上升的趋势,见图 3.6,这表明,零售价的上升会增加集成商的收益,因此集成商会适当地增加订购量 $Q$ ,提供商接收到集成商的订单后,也会相应地增加物流能力的投资;单位物流服务能力的处理残值 $v$ 的增加,进一步促使集成商增加订购量,提供商进而增加投资量,但残值 $v$ 对决策量的影响较小,见图 3.7。

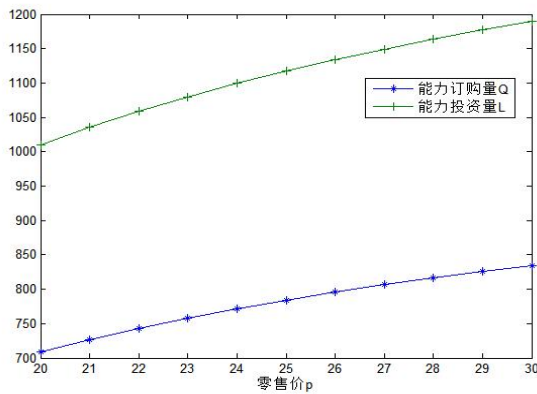


图 3.6  $p$  对能力决策量的影响

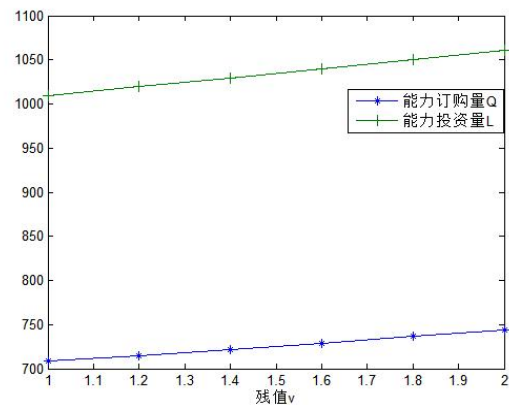


图 3.7  $v$  对能力决策量的影响

由结论 1-3 可知,产出率对能力决策的影响相对较为复杂,因此本节是给予相应参数后得出的结论。

#### (1) 产出率波动对 LSSC 的影响 ( $\mu_z = 0.65$ )

表 3.1 为产出率波动对物流服务能力决策相关变量影响的相关统计数据,并将表 3.1 中数据呈现在下图 3.8 和图 3.9 中可以清晰的看出:

图 3.8 中,当产出率的均值一定时,随着产出率波动范围的增加,即产出率越离散时,对于集中决策的整体供应链而言,其能力投资量将随之急速降低;而在分散决策的模型中,能力投资量随着产出率波动范围的加大先增加后减小,这在一定程度上表明提供商在期初产出率变动在一定范围时,倾向于投资足够的物流能力来满足提供商的订购,当产出波动到一定范围时,由于这种不可控性带来的风险大于其收益,其选择及时止损,减少物流服务能力的投资。集成商作为供应链的主导者,其会抓住这种不确定性,加大能力订购,一方面可以满足市场需

求,另一方面当提供商因为产出的不确定导致能力交付不足时,也可以对其进行一定的惩罚。

图 3.9 中,当产出率的均值一定时,不论何种决策方式,随着产出波动性的增加,对供应链总体而言利润都是下降的;但在分散决策时,集成商会从产出不确定增加中受益,利润会上升,而提供商利润在下降。

表 3.1 产出波动  $\sigma_z$  对 LSSC 各变量的影响

$\sigma_z$	集中决策		分散决策					
	$L_C^*$	$\Pi_C$	M	Q	$L_D^*$	$\Pi_{DI}$	$\Pi_{DF}$	$\Pi_D$
0.06	927.5747	2849.4	1.4792	460.3258	680.9048	979.9071	1493.7	2473.6
0.08	922.2836	2824.3	1.4534	471.8965	685.8628	993.5079	1453	2446.5
0.1	914.5631	2792.5	1.4255	483.7113	689.5494	1005.7	1412	2417.6
0.12	905.3131	2754.3	1.3959	495.6709	691.9257	1016.1	1370.2	2386.4
0.14	894.5965	2710.1	1.3650	507.6772	692.9594	1024.6	1327.6	2352.2
0.16	882.5822	2660.5	1.3332	519.5315	692.6338	1030.8	1284.2	2315
0.18	869.3171	2605.7	1.3008	531.1793	690.9583	1034.6	1239.7	2274.3
0.20	854.9999	2546.5	1.2846	542.4415	687.9754	1035.9	1194.5	2230.4

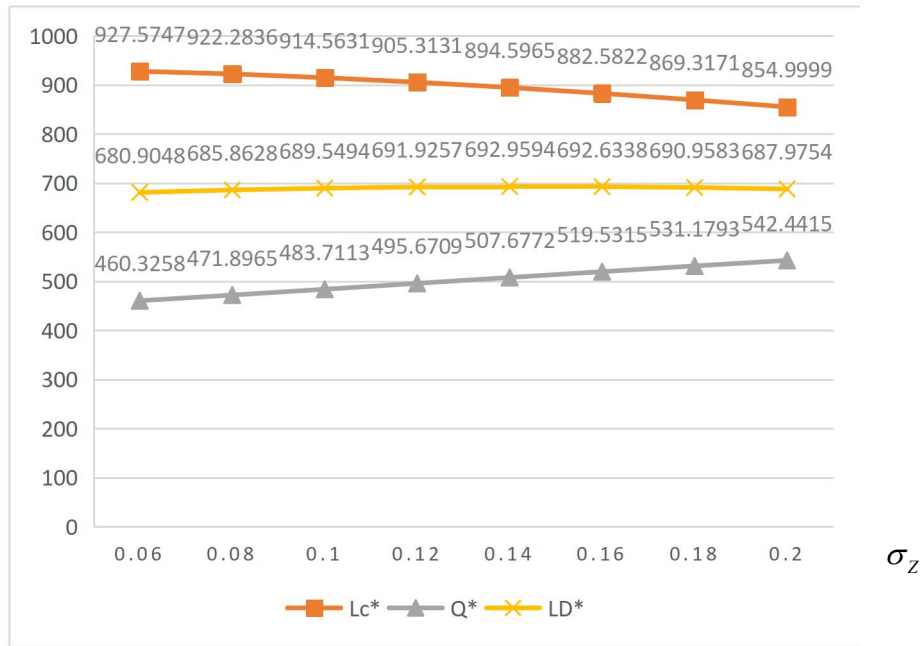


图 3.8 产出波动  $\sigma_z$  对能力决策变量的影响

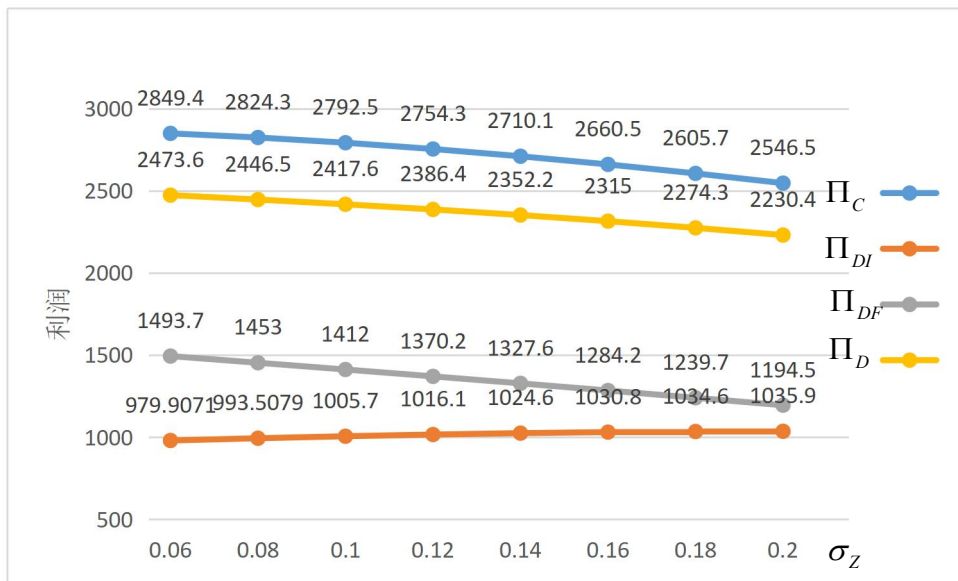


图 3.9 产出波动  $\sigma_z$  对相关利润的影响

(2) 产出率均值  $\mu_z$  对相关要素的影响 ( $\sigma_z = 0.1$ )

表 3.2 为产出率均值对相关要素的影响，并将表 3.2 中数据呈现在图 3.10 和图 3.11 中，可以看出：



在图 3.10 中, 假设产出率标准差  $\sigma_z = 0.1$ , 可以明显的看出产出率均值  $\mu_z$  对各个量的影响, 在集中决策模式下, 随着  $\mu_z$  增大, 供应链整体的能力投资量呈现先上升后下降的趋势; 但在分散各自决策模式下, 订购量和投资量都在减少, 并且提供商能力投资量的下降速度明显快于集成商的能力订购量。

在图 3.11 中, 对于整个一体化供应链而言, 随着  $\mu_z$  的增加, 供应链利润也在上升, 在这种情况下, 供应链各决策主体可以通过不断协作, 增加能力的产出, 以此提升利润; 但是在分散决策下供应链的整体利润明显小于集中决策时, 同时集成商的利润受  $\mu_z$  值的影响不大, 呈现缓慢下降趋势; 而提供商的利润随着  $\mu_z$  的增加其利润也有明显的上升。

表 3.2 产出率均值  $\mu_z$  对 LSSC 各变量的影响

$\mu_z$	集中决策		分散决策					
	$L_C^*$	$\Pi_C$	M	Q	$L_D^*$	$\Pi_{DI}$	$\Pi_{DF}$	$\Pi_D$
0.5	916.3814	1289.4	1.6244	542.3379	880.9834	1073	177.7445	1250.8
0.6	927.3345	2335.9	1.4917	497.7505	742.5134	1021.8	1073.3	2095.2
0.7	895.9767	3207.6	1.3611	473.0256	643.8300	993.2519	1701.6	2694.9
0.8	850.5891	3928.9	1.2402	458.3060	568.3695	975.8351	2173.9	3149.7

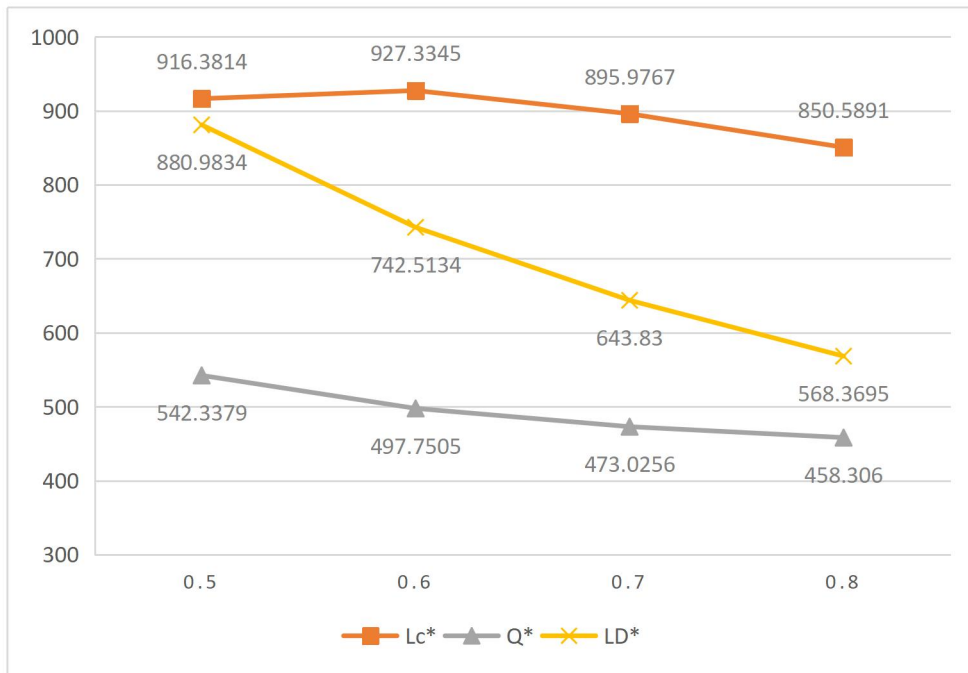


图 3.10 产出率均值  $\mu_z$  对能力决策量的影响

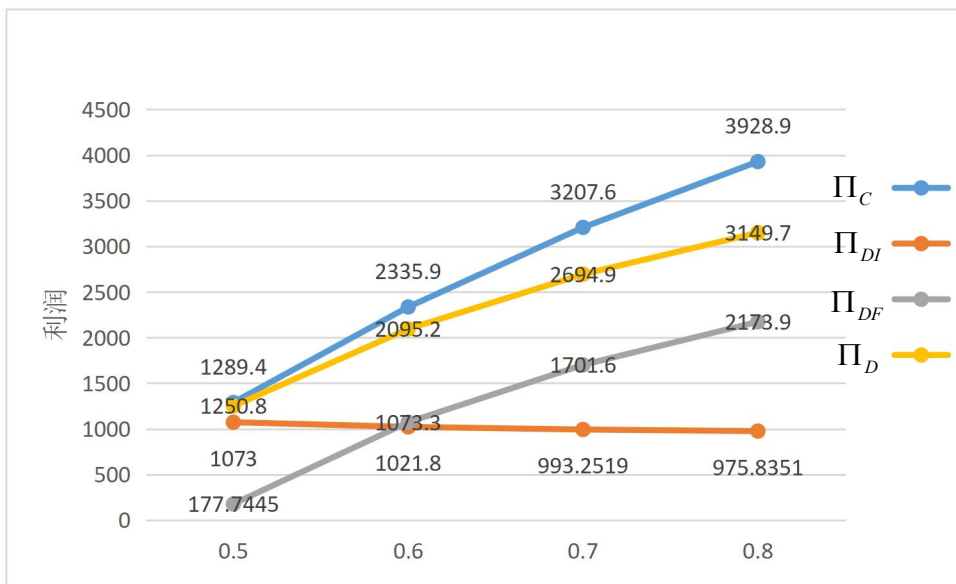


图 3.11 产出率均值  $\mu_z$  对相关利润的影响

总之，第一，从物流服务供应链整体的角度来看，不论何种决策模式，整体物流服务供应链的能力投资量及整体的收益都会随着产出的随机性的增长而慢慢降低，并且分散决策情境下供应链的收益明显小于集中决策，因为在分散决策下两者是一种合作的竞争关系，双方存在利益博弈，希望各自的利益最大化，存

在“双重边际化”。从整个 LSSC 的角度来说，产出不确定的增加，会损害整个物流服务供应链的利益，因此需要加大监测，减少产出不确定带来的危害。

第二，通过数学模型的求解与仿真可以得出分散决策模式下，当产出率取在一定范围内时，订购量随着产出率方差的增加而增加、随着产出率均值的增加而降低，集成商在面对极其低的能力产出，且能力产出出现巨大波动时，为了避免自身能力订购不足对市场造成损失，通过提前预定大量物流服务能力来避免这种情况的出现，在这种情况下，集成商的利润才能不断增加，这在一定程度上说明产出不确定带来的风险主要由提供商承担，彰显集成商的主导地位。

### 3.5 本章小结

以一个具有产出随机扰动特征的物流服务提供商和一个应对随机市场需求的集成商组成的两级物流服务供应链为研究对象，分析集中和分散两种模式下的能力决策策略。研究发现：分散决策的整体决策效果明显较差，且单周期决策下提供商的投资量和集成商的订购量之间存在巨大的差距。

## 4 多周期动态博弈下的物流服务供应链能力决策研究

前一章内容基于博弈论得到了单周期静态博弈的均衡解,但是由于物流服务供应链成员之间可能存在的长期合作关系,使得这种单周期的均衡决策难免与实际产生偏差,再加上物流服务能力的交付过程中往往会存在信息延迟、决策不同步等问题,导致博弈均衡难以达到系统稳定。同时物流服务供应链各参与方为了保证能力供给的稳定,往往与企业长期合作,是一个长期的动态博弈的过程,因此本章基于系统动力学来分析物流服务供应链能力决策的动态过程,研究多周期下物流服务能力订购量和投资量的演化趋势,并运用 Vensim PLE 软件对模型进行仿真分析。

### 4.1 系统动力学基础模型的描述

#### 4.1.1 SD 基础模型结构

当市场产生物流服务需求时,由集成商结合近期市场实际需求数据,预测下一期的需求量,并向提供商进行物流能力的订购,接下来提供商根据集成商的能力订单,结合自身的需求预测,进行物流能力的投资,最终经过能力筹备期后,实际的物流服务能力产出量对整个物流服务供应链进行能力补给,最终将物流服务能力交予集成商,并满足市场需求,表 4.1 为物流服务能力决策系统的模型结构。

表 4.1 系统的模型结构

研究对象	两级物流服务供应链能力决策系统
决策方式	集成商预测市场需求,之后根据现有的能力持有量向上级提供商提交能力订购订单,然后提供商根据能力订单量及自身能力持有量进行能力投资储备决策
系统结构	系统决策者:集成商和提供商 系统流程:市场需求预测、下订单、能力供给、销售
系统边界	以市场需求、集成商订购、提供商投资储备、集成商销售物流服务为起点,结束于客户需求

同样地，集成商为市场和提供商的中介，以为客户提供优质服务为目标，对物流服务供应链中提供商提供的服务资源和市场需求进行协调管理，市场需求是整条物流服务供应链中需求的来源，拉动供应链的协作。物流服务供应链中各节点的企业根据下游成员反馈的需求信息来为下游成员提供服务，并根据自身能力持有量进行调整，物流服务供应链基础模型结构见图 4.1。

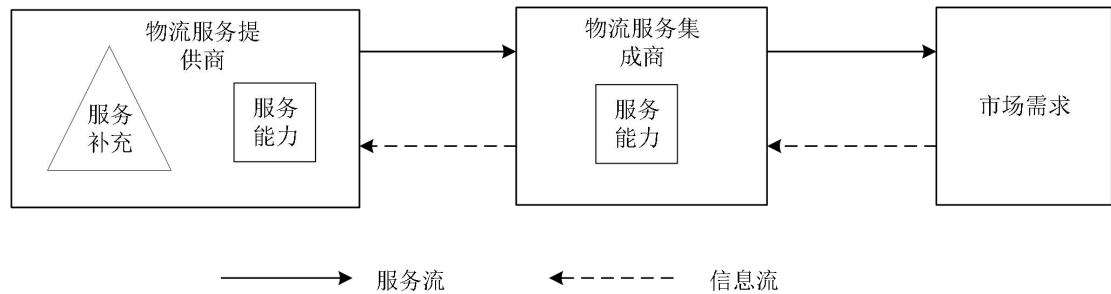


图 4.1 物流服务供应链基础模型结构

#### 4.1.2 SD 基础模型假设

模型假设如下：

（1）本章所研究的对象为两级物流服务供应链，即只存在唯一的集成商和唯一的提供商，且其能力决策均基于第三章所得结论；

（2）本章主要研究市场需求和产出均存在随机扰动对物流服务供应链能力决策的影响，所以不考虑服务水平对能力决策和市场需求的影响。

（3）市场需求随机波动，产生物流服务能力过剩或物流服务能力缺失时，不会影响提供商和集成商之间的合作关系。

（4）参考第三章数值仿真的数据，假设产出率  $z$  服从均值为 0.65，标准差为 0.06 的均匀分布，市场需求服从  $(0, 1000)$  的均匀分布。

## 4.2 系统动力学基础模型构建

### 4.2.1 模型变量定义

构建多周期动态博弈 SD 模型的基础是找准变量与参数,由第三章的能力决策均衡解可以看出,物流服务能力决策系统涉及众多的参数与变量,因此在构建 SD 流图之前,对各变量及参数进行定义。

反映系统状态的变量就是水平变量,也称为状态变量,是一个可以随时间不断累积的量。本模型中的水平变量有两个:

集成商物流服务能力持有量,是集成商物流服务能力消耗量和提供商物流服务能力消耗量的累积量,即  $\text{INTEG}(\text{集成商物流服务能力消耗量}-\text{提供商物流服务能力消耗量}, 0)$ ; 提供商物流服务能力持有量,是提供商物流服务能力消耗量和能力产出量的累积量,即  $\text{INTEG}(\text{提供商物流服务能力消耗量}-\text{能力产出量}, 0)$ , 初始值均为 0。

速率变量描述的是状态变量的流入、流出变化,表示的是水平变量随时间的变化快慢,本模型中的速率变量有三个:

(1) 提供商能力产出量:  $\text{DELAY1}(\text{能力产出率} \times \text{提供商投资量}, \text{服务能力周转时间})$ , 表示在经过前期的能力投资后的实际产出,也就是提供商的实际能力流入,  $\text{DELAY1}(\{\text{in}\}, \{\text{dtime}\})$  为一阶延迟函数, in 指的是输入, dtime 指的是延迟时间;

(2) 提供商物流服务能力消耗量:  $\text{集成商订购量} + \text{RANDOM NORMAL}(-50, 50, 0, 20, 2)$ , 表示提供商的物流服务能力消耗量在集成商订购量的上下随机浮动<sup>[48]</sup>;

(3) 集成商物流服务能力消耗量:  $\text{市场需求量} + \text{RANDOM NORMAL}(-50, 50, 0, 20, 2)$ , 表示集成商的物流服务能力消耗量在市场需求量的上下随机浮动。假定物流服务能力消耗量的上下浮动幅度是 50, 均值为 0, 标准差为 20, 初始设定的随机数为 2<sup>[48]</sup>。

辅助变量是描述决策过程中的中间变量,存量和速率变量的信息传递和转换是通过辅助变量来实现的。本模型的辅助变量,譬如能力订购—投资储备系数、能力订购量、能力投资储备量等皆由本文中 3.3.2 中求解得到结论转化为 Vensim 软件中的语言进行定义的:

能力订购—投资储备系数  $M$ :  $((\text{批发价 } w + \text{单位能力不足惩罚成本 } s_2 - \text{残值}) / (2 * (\text{单位能力投资成本 } c - \text{残值} * \text{产出率均值 } \mu_z) * \text{产出率波动范围 } b - a) + \text{产出率下限 } a^2 * (\text{批发价 } w + \text{单位能力不足惩罚成本 } s_2 - \text{残值}))^{0.5}$ ;

其中，将市场需求函数和能力产出率所服从的分布函数，即  $f(x) = \frac{1}{1000}, F(x) = \frac{x}{1000}, \mu_z = 0.65, \sigma_z = 0.06$  代入到第三章中得出的结论 2 和结论 3，并化简可以得到集成商订购量满足的方程式子为：

$((\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{批发价}) + (\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{单位能力不足惩罚成本} - \text{批发价}) * n * (\text{订购} - \text{投资储备系数 } M^2 - \text{产出率下限}^2) / (2 * (\text{产出率上限} - \text{产出率下限})) - (\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{单位能力不足惩罚成本} - \text{批发价}) * (\text{订购} - \text{投资储备系数 } M - \text{产出率下限}) / (\text{产出率上限} - \text{产出率下限})) / (0.001 * (\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{残值}) + (\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{残值}) * (\text{订购} - \text{投资储备系数 } M^3 - \text{产出率下限}^3) * n^2 / (3000 * (\text{产出率上限} - \text{产出率下限})) - (\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{残值}) * (\text{订购} - \text{投资储备系数 } M - \text{产出率下限}) / (1000 * (\text{产出率上限} - \text{产出率下限}))) - \text{集成商物流服务能力持有量}$ ，其中  $n = 1/M$ （没有具体含义，仅为简化公式）；

同理，提供商投资量满足的方程式为： $(\text{订购} - \text{投资储备系数 } M * \text{集成商订购量}) - \text{提供商物流服务能力持有量}$ ；

另外由于产出率  $z$  服从均值为 0.65，标准差为 0.06 的均匀分布，因此可求解得出产出率的下限  $a = 0.5461$ ，产出率的上限  $b = 0.7539$ ，产出率的波动范围即为  $b - a$ ，模型中其他相关变量如表 4.2 所示。

表 4.2 模型变量及定义

变量类型	变量名称	对应方程式
常量	单位能力缺失成本 $s_1$	2
	单位能力不足惩罚成本 $s_2$	2
	服务能力周转时间	0.5
	零售价 $P$	20
	批发价 $w$	13

变量类型	变量名称	对应方程式
	残值 $v$	1
	单位能力投资成本 $c$	6

### 4.2.2 系统动力学流图

在系统动力学中，存量流量图也称流图，是系统动力学模型构建的一个基础的形式，在 Vensim 中建立需求和产出均存在随机扰动下的物流服务供应链能力决策的流图，如图 4.2 所示。集成商根据以往的消耗量进行需求预测，并向提供商提交采购订单，提供商根据集成商的采购量和自身能力持有量来决策投资量，并最终交付物流服务。

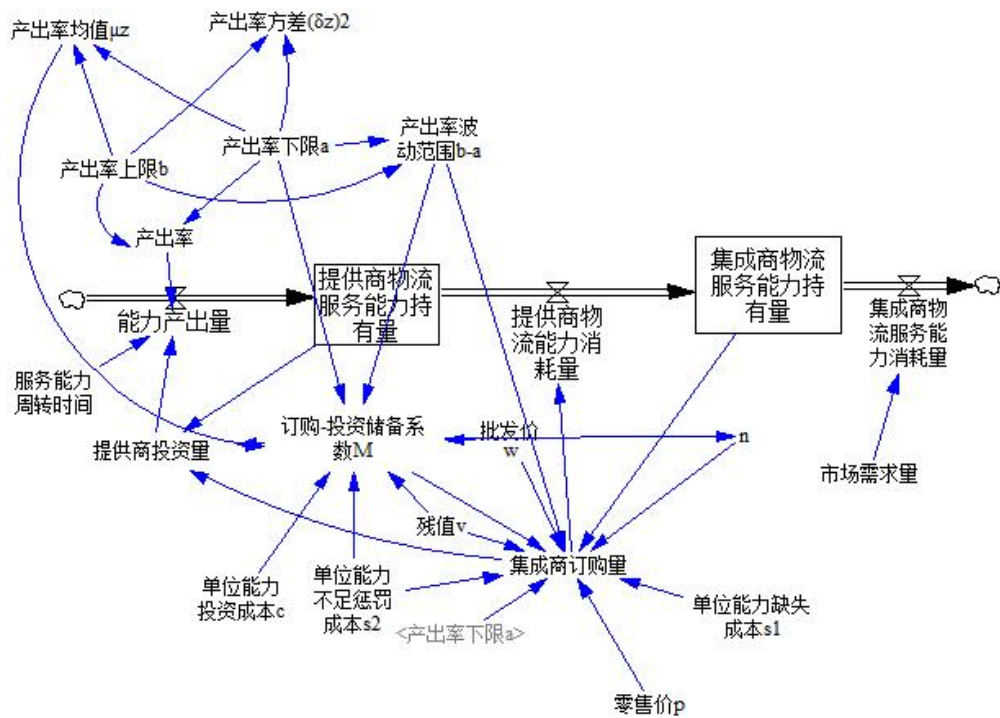


图 4.2 物流服务能力决策基础模型流图

### 4.3 系统动力学基础模型稳定性分析

在本文的 2.3 节，已经论述过为检验所建模型的合理性，需要对模型进行稳定性分析，而稳定性的测度有多种方法，参考相关文献<sup>[57]</sup>，在本文中选取极端条



件测试来验证模型的稳定性,这也能保证物流能力决策系统在极端条件下的行为也能符合决策者的决策意愿和实际市场的运作规律。

图 4.3 为市场需求突然升高时提供商和集成商能力的变化曲线,具体的测试表达式为: IF THEN ELSE(Time>=50, RANDOM UNIFORM( 0 , 1000 , 0.002 ), 0), 表示市场需求在前 50 周时为 0, 50 周后需求恢复正常,服从 (0, 1000) 的均匀分布,可以清晰地看出,当市场需求升高时,集成商和提供商的物流服务能力也随之上升,并呈现随机波动的趋势;图 4.4 为市场需求突然降低时提供商和集成商能力的变化曲线,具体的测试表达式为: IF THEN ELSE(Time>=50, 0, RANDOM UNIFORM( 0 , 1000 , 0.002 )), 表示市场需求在前 50 是正常的,服从 (0, 1000) 的均匀分布,之后突然降低为 0,当需求降为 0 时,提供商和集成商服务能力也维持在 0 这条水平线上,这表明在客户对物流服务没有需求的情况下,物流服务提供商将不再进行能力投资储备,集成商的采购活动也停止,整条物流服务供应链没有服务能力的流通,处于停滞状态。同时受到信息传递延迟等原因,集成商和提供商的反应明显滞后于市场,这是符合市场运作规律的。

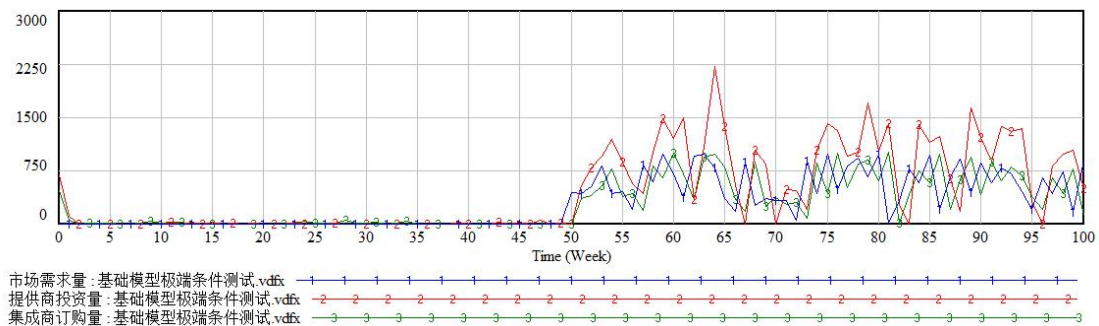


图 4.3 市场需求突然升高时提供商和集成商能力的变化曲线

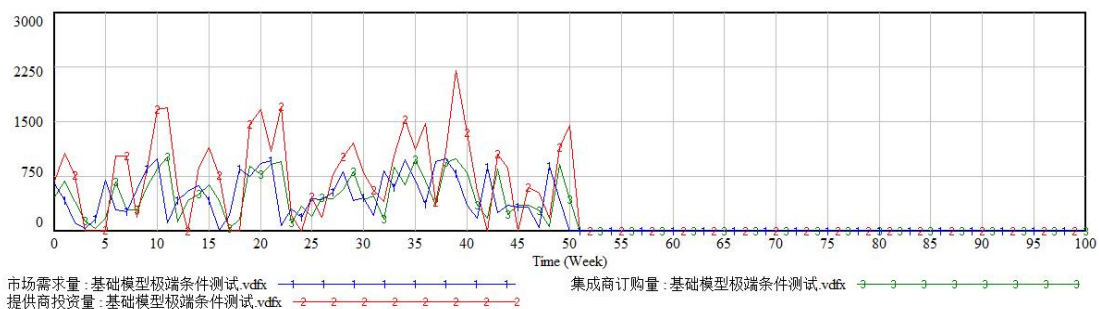


图 4.4 市场需求突然降低时提供商和集成商能力的变化曲线

由以上分析可知,在提供商和集成商的能力决策,在受市场需求变动情况下,其变动曲线能够模拟实际物流服务供应链的运作过程,符合决策者的意愿和市场运作的实际规律,因此本文所建的物流服务供应链能力决策模型具有相对的稳定性。

#### 4.4 系统动力学基础模型仿真分析

通过上述基础模型的构建和稳定性测试,本节将运用 Vensim 软件继续的具体的仿真,以期发现物流服务供应链能力决策基础模型中存在的问题。本文将主要从服务能力决策量、物流服务能力持有量和牛鞭效应值三个维度进行分析。

##### (1) 物流服务能力决策量仿真分析

由图 4.5 可知,提供商、集成商和市场需求的曲线分别呈现出随机波动的趋势,且提供商处于该两级物流服务供应链的最上游,其投资量值的波动幅度最大,明显大于集成商订购量的波动幅度,说明单周期的博弈结果在随着时间演化过程中,集成商订购量和提供商投资量之间存在较大的偏差。

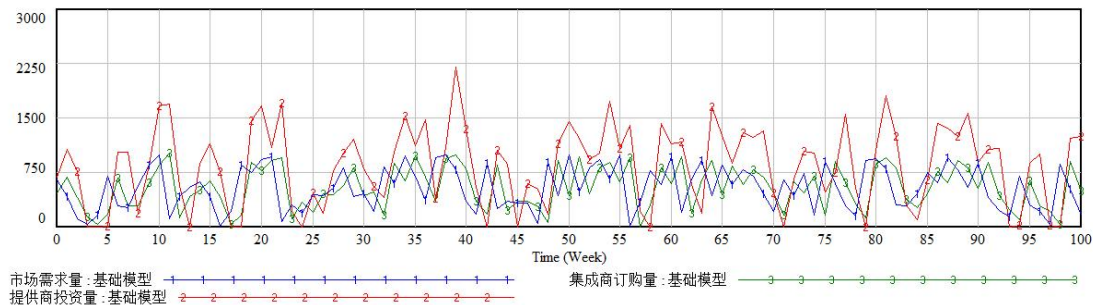


图 4.5 基础模型物流服务能力相关变量的变化曲线

##### (2) 物流服务能力持有量仿真分析

物流服务能力持有量通俗理解为物流订单的积压,当物流服务能力持有量为正时,说明物流能力的提供存在剩余,当物流服务能力持有量为负时,则表明物流能力有欠缺,存在订单的积压。由图 4.6 可以清晰地看出物流服务供应链能力决策基础模型中,提供商的物流服务能力持有量较集成商而言其波动范围更大,均存在明显的能力不足和能力剩余的现象,并且提供商物流服务能力持有量波动幅度大,其最高逾 968,最低约至-806,结合图 4.5 可以得到,即使提供商加大

对能力的投资储备，也难以与集成商和市场需求实现良好的匹配，一定程度上会造成物流资源的浪费。

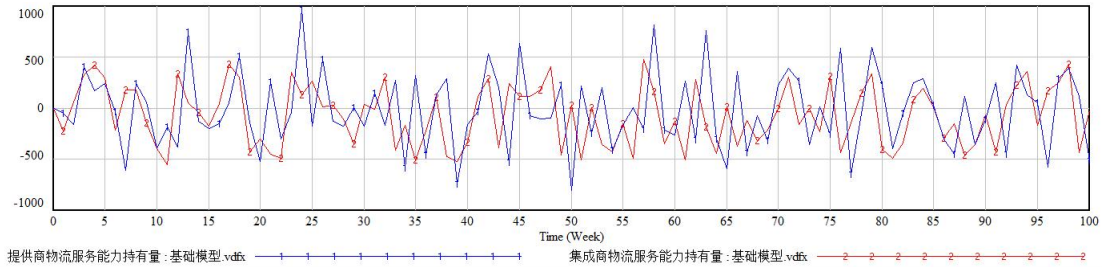


图 4.6 基础模型物流服务能力持有量的变化曲线

从 Vensim 软件中导出本次仿真的统计结果，以便从数值上对提供商和集成商的物流服务能力进行分析，如表 4.3 所示，提供商投资量的均值和标准差分别是集成商订购量的 1.57 和 1.9 倍，是市场需求的 1.58 和 1.87 倍。但是在这样一个关系的情况下，依旧无法保证服务的稳定供给，存在能力缺失现象。

表 4.3 基础模型的仿真统计数据

	市场需求	集成商订购量	提供商投资量
均值	531.288197	534.9515248	838.1597865
标准差	289.7115323	290.431503	546.0579412
方差	84772.09966	85193.96252	301161.0679

#### 4.5 牛鞭效应相关分析

在产品供应链中，由于市场需求的不断变化导致供应链的相对不稳定，以及供应链节点企业处理信息能力不同，在一定程度上造成信息流在供应链中的传递中不顺畅，实时性无法保证，这种现象被称为“牛鞭效应”<sup>[58-59]</sup>。而上游供应商面对这种需求量的波动时，通过增加库存的方式来应对，这种行为就会造成库存成本的增加，给供应链的管理造成一定的压力。比如在对计算机市场的需求做预测时，发现市场需求只是轻微增长 3%，而到达戴尔（制造商）时，就会在预测值的基础上增加一定的比例加以修正，需求可能会被放大到 6%，传递到英特尔

（首级供应商）时，此时的需求可能会被放大到 10%，而到达替英特尔生产处理器的工厂（次级供应商）时，这种需求可能会被放大到 15%，具体牛鞭效应所造成的信息差异度如图 4.7 所示。

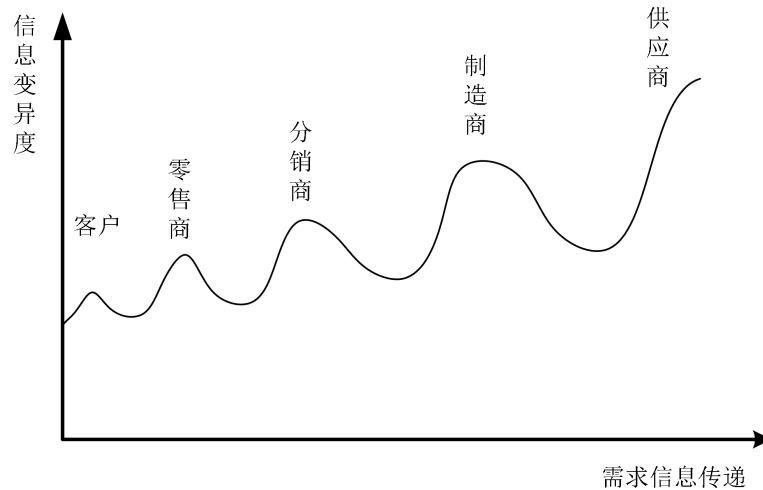


图 4.7 牛鞭效应

牛鞭效应的量化主要有两种：一是 Chen 等<sup>[59]</sup>学者从统计分析的角度来量化，即通过需求放大的方差比值进行分析；二是 Disney 等<sup>[60]</sup>学者从控制工程角度进行的量化，采用控制工程学中的传递函数、频率响应等方法。本文采用第一种方法来量化牛鞭效应，用供应链需求率方差与客户需求率方差的比值表示牛鞭效应值，值越大，牛鞭效应越严重。据此，设定物流服务供应链牛鞭效应的计算方法，

$$Bullwhip = \frac{\text{var}(L)}{\text{var}(D)}$$

其中  $\text{var}(L)$  表示提供商物流能力投资量的方差， $\text{var}(D)$  表示

市场需求量的方差。

牛鞭效应在供应链中的存在性及量化已经被证实和细化，但是在物流服务供应链中的研究却极为匮乏，李佳豫<sup>[61]</sup>构建了一个四阶段的物流服务供应链模型，验证了物流服务供应链中存在物流服务能力的牛鞭效应，并提出可能弱化牛鞭效应的对策，但没有进行对此的研究验证；杜寿平<sup>[62]</sup>归纳出物流服务供应链存在牛鞭效应的四点原因，基于 Anylogic 进行牛鞭效应的仿真及优化。总之，对于物流服务供应链牛鞭效应的存在性、量化、弱化等还需进行深入研究。

通过对表 4.3 中相关数据进行计算，得到基础模型的牛鞭效应值是

$$Bullwhip = \frac{\text{var}(L)}{\text{var}(D)} = \frac{301161.0679}{84772.09966} = 3.55, \text{表示最终的提供商能力投资量为市场需}$$

求量的 3.55 倍，这个数值明显大于 1，说明物流服务供应链中存在牛鞭效应。

总之，由仿真结果可看出，物流服务供应链下游节点（集成商）的物流服务能力水平的均值与市场需求差别不大，且波动幅度小，但随着向物流服务供应链上游的移动，提供商的物流能力水平的均值明显加大，且波动范围扩大，存在很明显的牛鞭效应，资源利用率低，资源浪费现象严重。

## 4.6 本章小结

本章基于第三章静态博弈对物流服务供应链能力决策静态博弈的均衡解，将与系统动力学相结合，构建 SD 模型并仿真，从物流服务能力决策变量和物流服务能力持有量以及牛鞭效应值三个角度进行仿真分析，仿真结果表明物流供应链能力决策中存在着明显问题，就是提供商的投资量均值及波动明显大于市场需求的均值及波动，且牛鞭效应值高达 3.55。在基础模型不存在任何协调机制的情况下，物流服务供应链中的确存在严重的牛鞭效应，并且沿物流服务供应链向上游逐级放大，致使服务提供商的服务能力出现剧烈变动，这可能是系统中存在的信息和服务传递的滞后和失真所导致的。

## 5 基于信息共享的物流服务供应链能力决策优化研究

从第四章的基础模型可以看出，多周期博弈中存在牛鞭效应，为了弱化或者消除牛鞭效应的影响，协调供应链内部供需匹配，因此本章将信息共享机制引入到 SD 基础模型中，在信息共享模型中，提供商能力决策不再仅仅依赖于自身的能力持有量和集成商的订购量，还可以依据信息共享捕获市场需求做出更加准确的决策。此外集成商也可直接捕获一定的市场需求信息进行调整，做出更加准确的能力订购量决策，提高信息传递的敏捷性和准确性。

### 5.1 信息共享模型相关公式及流图

信息共享模型是在基础模型中引入信息共享机制，信息共享后，集成商和提供商在进行能力决策时会依据其所获取的信息，集成商在进行能力订购时能够直接捕获到市场的需求信息，而提供商在能力投资量确定时能获得市场需求信息和集成商物流能力消耗量的信息，并赋予其权重各为 0.5，因此信息共享模型的相关公式如下，在此处只列出与第四章中基础模型中相区别的公式，具体含义参考本文的 4.2.1 部分。

集成商订购量： $0.5 * ((\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{批发价}) + (\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{单位能力不足惩罚成本} - \text{批发价}) * n * (\text{订购} - \text{投资因子 } M^2 - \text{产出率下限}^2) / (2 * (\text{产出率上限} - \text{产出率下限})) - (\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{单位能力不足惩罚成本} - \text{批发价}) * (\text{订购} - \text{投资因子 } M - \text{产出率下限}) / (\text{产出率上限} - \text{产出率下限})) / (0.001 * (\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{残值}) + (\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{残值}) * (\text{订购} - \text{投资因子 } M^3 - \text{产出率下限}^3) * n^2 / (3000 * (\text{产出率上限} - \text{产出率下限})) - (\text{零售价} + \text{单位能力缺失成本} - \text{残值}) * (\text{订购} - \text{投资因子 } M - \text{产出率下限}) / (1000 * (\text{产出率上限} - \text{产出率下限}))) + 0.5 * \text{集成商获取的信息} - \text{集成商物流服务能力持有量}$

提供商投资量： $0.5 * \text{订购} - \text{投资因子 } M * \text{集成商订购量} - \text{提供商物流服务能力持有量} + 0.5 * \text{提供商获取的信息}$

提供商捕获的信息： $0.5 * \text{市场需求量} + 0.5 * \text{集成商物流服务能力消耗量}$

集成商捕获的信息：市场需求量

物流服务能力决策信息共享模型流图见图 5.1。

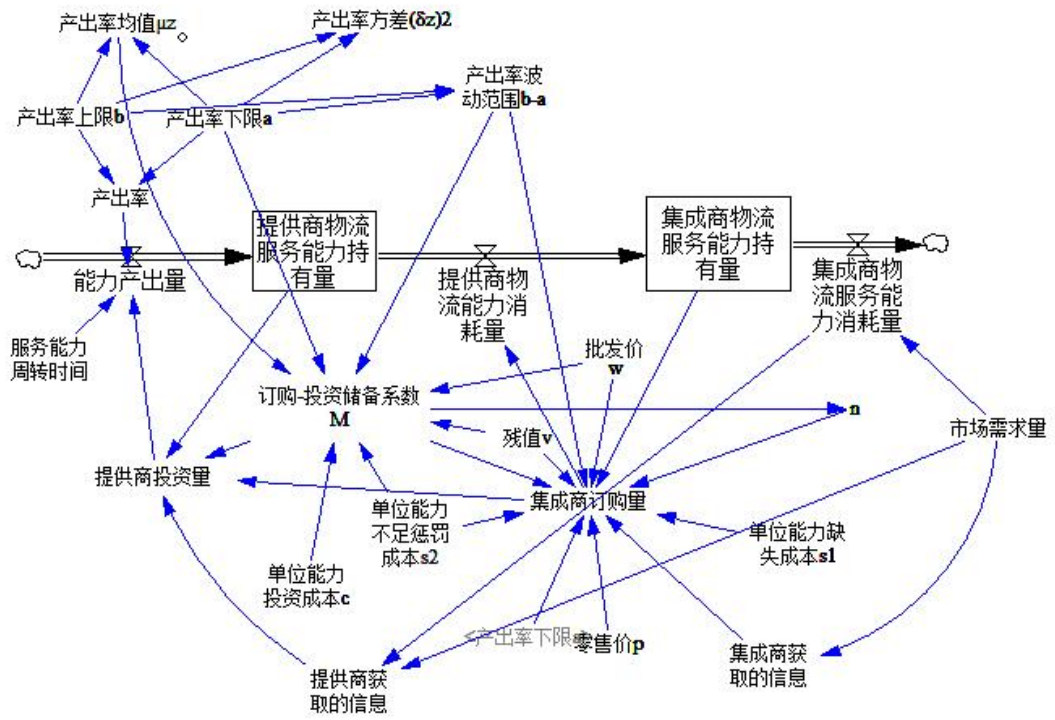


图 5.1 物流服务供应链能力决策信息共享模型流图

## 5.2 基础模型与信息共享模型对比分析

本节将重点对比加入信息共享机制后对物流服务供应链能力决策的影响。由图 5.2-5.5 直观上可以看出，在信息共享模型下，各条曲线相较于基础模型而言更加扁平，波动范围缩小，提供商的物流服务能力投资量和集成商的物流服务能力订购量峰值明显减小，集成商和提供商的物流能力持有量波动范围明显缩小，这说明提供商和集成商在存在信息共享机制的决策系统中，不再需要提前储备大量的物流资源，就能在最大程度上满足市场的需求，一定程度上减少了对资源的浪费。

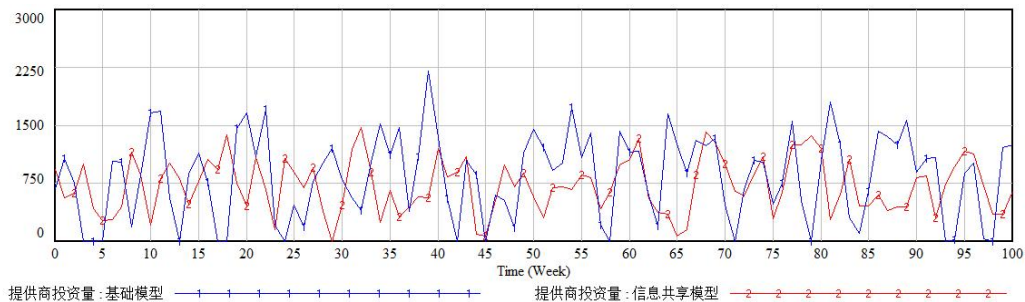


图 5.2 提供商物流服务能力投资量的对比

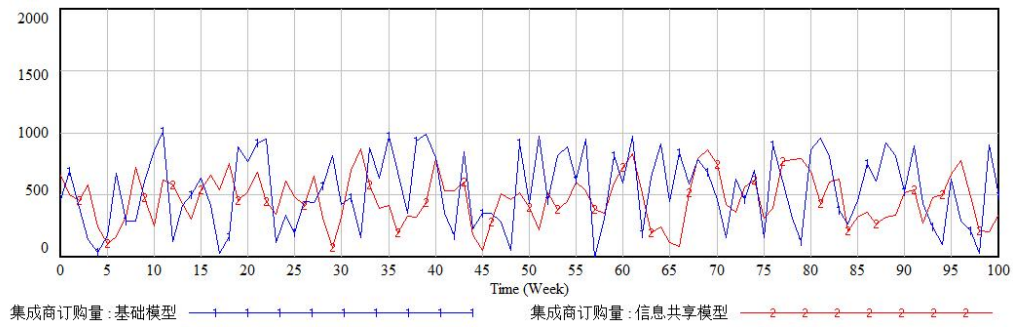


图 5.3 集成商物流服务能力订购量的对比

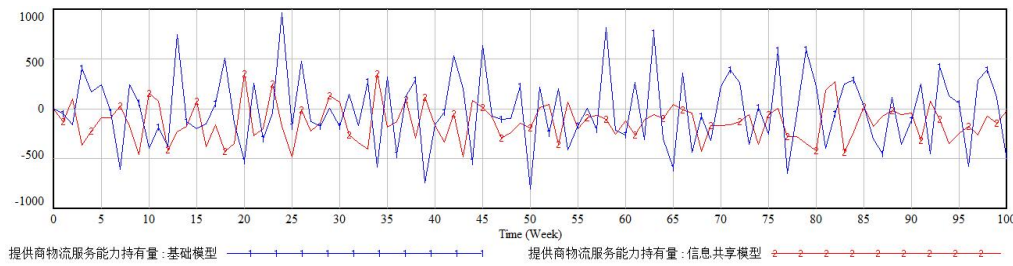


图 5.4 提供商物流服务能力持有量的对比

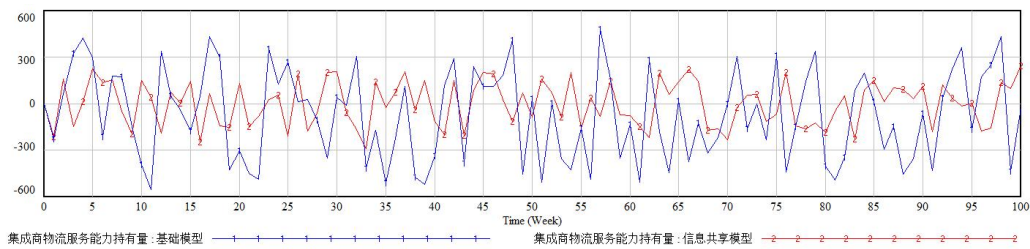


图 5.5 集成商物流服务能力持有量的对比

表 5.1 为物流服务能力决策仿真结果的统计数据。明显可以看到，信息共享机制的加入，提供商的投资量和集成商的订购量的均值大小、标准差、方差都有所减少，其中，投资量的均值由 838 降为 713，标准差由 546 降为 346；订购量的均值由 535 降为 465，标准差由 290 降为 195。物流服务能力订购量和投资量的减少，且其变化幅度缩小，这表明物流服务供应链中服务能力的供给相对平稳，同时物流服务持有量波动范围的缩小也在一定程度上印证了加入信息共享机制后，物流服务供应链整体稳定运行，提供商和集成商对于需求进行感知和预测的灵敏度和准确性提升，不再储备大量物流服务资源以应对客户需求的变化。



表 5.1 物流服务能力决策量对比统计数据

	提供商投资量		集成商订购量		市场需求
	基础模型	信息共享模型	基础模型	信息共享模型	基础模型/信息共享模型
均值	838.15978	713.47720	534.9515	465.38262	531.288197
标准差	546.05794	346.28993	290.4315	194.61826	289.7115323
方差	301161.06	121115.88	85193.96	38255.032	84772.09966

信息共享模型的牛鞭效应值是  $Bullwhip = \frac{\text{var}(L)}{\text{var}(D)} = \frac{121115.89}{84772.1} = 1.43$ ，这表示

提供商的投资量仅为市场需求的 1.43 倍，且 1.43 明显小于 3.55，信息共享模型的牛鞭效应值缩小至基础模型的一半以下，牛鞭效应在一定程度上得到弱化。

信息共享机制有效地缓解了物流服务供应链中需求不断放大的现象，在一定程度上弱化了牛鞭效应，集成商和提供商不必再储备大量的物流服务能力以应对需求和产出变动的危机，这能够优化物流服务供应链的决策，实现物流服务供应链整体效益最大化。

### 5.3 信息共享对物流服务供应链中“牛鞭效应”的弱化说明

通过 4.4 和 4.5 的分析可知，物流服务供应链能力决策基础模型中存在牛鞭效应，但随着信息共享机制的加入，牛鞭效应值由 SD 基础模型的 3.55 下降为 1.43，牛鞭效应明显减弱，一定程度上得益于在信息共享模型中，物流服务供应链成员的决策会基于通过信息共享捕获的信息，包括市场需求信息和下游节点企业的信息，比如提供商可以获得部分市场信息和集成商物流服务能力消耗量的信息，而集成商也可以直面市场需求信息，减少市场需求在信息传递上的失真度，促使他们的能力决策更加精准，集成商的订购量和提供商的投资量会在基础模型的基础上明显减少，而且物流服务能力持有量波动的幅度也大量缩小，能够减缓能力缺失和资源浪费的现象，这在一定程度上得益于减少市场需求信息在传递过程中可能存在的信息不对称和可能存在的信息延迟。

从理论角度而言，企业之间的信息共享是有益且非常必要的。但是现实中各决策主体都是相互独立的，都从自身的角度出发考虑问题，加上信息共享这种行

为本身存在一定的风险性,以及企业之间的行为策略选择也会受其他行为主体的影响,处于不断的跟随模仿中,因此基于演化博弈理论来研究物流服务供应链中决策主体通过相互学习达到稳定状态的研究非常必要,以期为企业间实施信息共享提供有益的科学参考。

## 5.4 物流服务供应链信息共享行为演化博弈分析

前文已经证明了信息共享对于缓解牛鞭效应是有效的,能够优化物流服务供应链成员的决策,减少物流资源的闲置与浪费,提升物流服务供应链群体在市场竞争中的竞争力。但是,在物流服务供应链的实际运作中,各节点企业总是“各自为政”,为保护自身数据安全,不会轻易分享私有数据,这在一定程度上阻碍成员之间有效地实施信息共享,成员间无法建立稳固的战略联盟关系,对双方或者多方之间的利益都是一种损失,因此,本节研究物流服务供应链成员的信息共享行为策略的选择,成员企业的信息共享行为也并不是一个一成不变的行为,它会随着博弈的反复进行而最终达到一个动态均衡,而演化博弈论就是研究系统的动态演化过程的理论,因此本节基于系统动力学来研究物流服务供应链成员的信息共享行为。

### 5.4.1 相关假设

集成商(L)和提供商(F)都是有限理性主体,双方通过不断调整自身决策策略,实现系统动态稳定。物流服务供应链成员选择信息共享与否是考虑多种因素的结果。假设集成商和提供商均不参与信息共享时,其仅仅只能获得基础收益 $R$ ;当单方面选择信息共享而另一方选择信息不共享时,不共享一方虽然能够获得一定的投机收益,但是会受到共享方一定的惩罚,惩罚的轻重由共享方对风险的厌恶程度决定的,而共享一方付出一定的共享成本后,能够获得别人的惩罚收益,但是同样面临信息被泄露的风险成本;当双方均采用信息共享策略时,会在基础收益的基础上获得激励收益和协同收益,而协同收益则取决于自身的信息吸收能力和对方共享信息量的大小,为此,所做假设如下:

(1) 本节仍以两级物流服务供应链为研究主体,分为集成商群体和提供商群体,令 $L$ 代表集成商群体, $F$ 代表提供商群体。

(2) 物流服务供应链成员的行为选择策略仅有信息共享和信息不共享两种，令集成商选择信息共享的概率为  $x$ （不共享为  $1-x$ ），提供商选择信息共享的概率为  $y$ （不共享为  $1-y$ ），且  $x, y(0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1)$ 。

(3) 假设集成商群体和提供商群体是一种长期合作的关系，即使其选择信息不共享策略，不会影响他们之间的合作关系，仍然会获得基础收益  $R$ 。

(4) 当双方仅一方选择信息共享策略时，共享的一方会给予对方一定的惩罚，总惩罚成本的大小取决与共享方的风险厌恶度，即风险因子<sup>[63]</sup>。

模型参数及含义见表 5.2:

表 5.2 符号说明

参数	含义
$D_i(i = L, F)$	信息共享程度
$P_i(i = L, F)$	信息吸收能力
$C_i(i = L, F)$	信息共享成本
$\alpha$	激励系数
$Z$	一方共享而另一方不共享时，共享方对不共享方的惩罚
$\mu_L$	集成商的风险因子
$\mu_F$	提供商的风险因子
$g$	协同系数
$R_L$	集成商选择不共享信息时获得的基础收益
$R_F$	提供商选择不共享信息时获得的基础收益
$\theta$	风险系数，当节点企业选择信息共享时可能面临信息被泄露等外部风险

集成商和提供商在四种策略下获得的收益矩阵如下表 5.3 所示:

表 5.3 收益矩阵

	提供商		
		共享 (y)	不共享 (1-y)
集成商			
	共享 (x)	$R_L + gP_L D_F + \alpha D_L - C_L - \theta D_L$ $R_F + gP_F D_L + \alpha D_F - C_F - \theta D_F$	$R_L - C_L - \theta D_L + \mu_L Z$ $R_F + P_F D_L - \mu_L Z$
	不共享 (1-x)	$R_L + P_L D_F - \mu_F Z$ $R_F - C_F - \theta D_F + \mu_F Z$	$R_L$ $R_F$

### 5.4.2 模型构建与分析

#### 1、集成商单方策略的稳定性分析

集成商选择信息共享策略的期望收益:

$$E_{11} = y(R_L + gP_L D_F + \alpha D_L - C_L - \theta D_L) + (1-y)(R_L - C_L - \theta D_L + \mu_L Z) \quad (5.1)$$

集成商选择信息不共享策略的期望收益:

$$E_{12} = y(R_L + P_L D_F - \mu_F Z) + (1-y)R_L \quad (5.2)$$

集成商的平均期望收益:

$$\bar{E}_1 = xE_{11} + (1-x)E_{12} \quad (5.3)$$

集成商的复制动态方程:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_{11} - \bar{E}_1) \quad (5.4)$$

将公式 5.1-5.3 代入 5.4 中得:

$$\frac{dx}{dt} = x(1-x)(E_{11} - E_{12}) = x(1-x)\{y[P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z] - C_L - \theta D_L + \mu_L Z\} \quad (5.5)$$

根据式 (5.5)

当  $\frac{dx}{dt} = 0$  时, 可以得到三个可能的均衡解, 分别为:

$$x_1^* = 0, x_2^* = 1, y^* = \frac{C_L + \theta D_L - \mu_L Z}{P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z}$$

但这三个解不一定是演化稳定策略。只有当满足  $\frac{dx}{dt} = 0$ ，且  $F'(x) < 0$  时，即为稳定状态下的演化稳定策略。因此，

$$F'(x) = (1-2x)\{y[P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z] - C_L - \theta D_L + \mu_L Z\} \quad (5.6)$$

(1) 若  $y = y^* = \frac{C_L + \theta D_L - \mu_L Z}{P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z}$ ，则  $\frac{dx}{dt} = 0$ ，表明这三个解都是演化稳定均衡点，那么在这种情况下，集成商选择信息共享或信息不共享两种策略的结果是一样的；

(2) 若  $y \neq y^* = \frac{C_L + \theta D_L - \mu_L Z}{P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z}$ ， $x_1^* = 0, x_2^* = 1$  都是  $x$  的演化稳定均衡点，故对  $\frac{C_L + \theta D_L - \mu_L Z}{P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z}$  的不同情况进行讨论分析。

当  $C_L + \theta D_L - \mu_L Z > P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z$ ，即满足  $C_L + \theta D_L > P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z$  时，对于任意的  $y(0 \leq y \leq 1)$ ， $F'(x_1^* = 0) < 0$ ，所以  $x_1^* = 0$  是集成商群体的演化稳定策略；

当  $C_L + \theta D_L - \mu_L Z < P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z$ ，即满足  $C_L + \theta D_L < P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z$ ，分如下两种情况进行讨论：当  $y < y^* = \frac{C_L + \theta D_L - \mu_L Z}{P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z}$ ， $F'(x_1^* = 0) < 0$ ， $F'(x_2^* = 1) > 0$ ，所以  $x_1^* = 0$  是稳定均衡点；当  $y > y^* = \frac{C_L + \theta D_L - \mu_L Z}{P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z}$  时， $F'(x_1^* = 0) > 0$ ， $F'(x_2^* = 1) < 0$ ，所以  $x_2^* = 1$  是稳定均衡点。

由此可知，在  $C_L + \theta D_L < P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z$  时， $y^*$  值的变化会影响集成商的演化稳定状态， $y^*$  变大，则表明  $y$  在  $[y^*, 1]$  这个可取值的范围内变小，因此  $x_2^* = 1$  作为演化稳定点的概率就会缩小，即集成商选择信息共享的可能性就会降低。

## 2、提供商单方策略的稳定性分析

提供商选择信息共享策略时所获得的期望收益为:

$$E_{21} = x(R_F + gP_F D_L + \alpha D_F - C_F - \theta D_F) + (1-x)(R_F - C_F - \theta D_F + \mu_F Z) \quad (5.7)$$

提供商选择不共享策略时所获得的期望收益为:

$$E_{22} = x(R_F + P_F D_L - \mu_L Z) + (1-x)R_F \quad (5.8)$$

提供商的平均期望收益为:

$$\bar{E}_2 = yE_{21} + (1-y)E_{22} \quad (5.9)$$

提供商的复制动态方程为:

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_{21} - \bar{E}_2) \quad (5.10)$$

将公式 5.7-5.9 代入 5.10 可得:

$$\frac{dy}{dt} = y(1-y)(E_{21} - E_{22}) = y(1-y)\{x[P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z] - C_F - \theta D_F + \mu_F Z\} \quad (5.11)$$

根据式 5.11, 当  $\frac{dy}{dt} = 0$  时, 求解可以得到三个可能稳定解分别为

$$y_1^* = 0, y_2^* = 1, x^* = \frac{C_F + \theta D_F - \mu_F Z}{P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z}$$

只有满足  $\frac{dy}{dt} = 0$ , 且  $F'(y) < 0$  时, 才满足成为演化稳定策略的条件, 因此,

通过求解

$$F'(y) = (1-2y)\{x[P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z] - C_F - \theta D_F + \mu_F Z\} \quad (5.12)$$

若  $x = x^* = \frac{C_F + \theta D_F - \mu_F Z}{P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z}$ , 则  $\frac{dy}{dt} = 0$ , 说明三个解都是演化

稳定均衡点, 提供商选择信息共享或信息不共享两种策略的结果是一样的;

若  $x \neq x^* = \frac{C_F + \theta D_F - \mu_F Z}{P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z}$ ,  $y_1^* = 0, y_2^* = 1$  都是  $y$  的演化稳定均

衡点, 故对  $\frac{C_B + \theta D_B - \mu_B Z}{P_B D_A (g-1) + \alpha D_B + \mu_A Z - \mu_B Z}$  的不同情况进行讨论分析:

当  $C_F + \theta D_F - \mu_F Z > P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z$  时，即

$C_F + \theta D_F > P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z$  时，对于任意的  $x (0 \leq x \leq 1)$ ， $F'(y_1^* = 0) < 0$ ，

所以  $y_1^* = 0$  是提供商群体的演化稳定策略。

当  $C_F + \theta D_F - \mu_F Z < P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z$  时，即

$C_F + \theta D_F < P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z$  时，分两种情况讨论：若

$x < x^* = \frac{C_F + \theta D_F - \mu_F Z}{P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z}$ ， $F'(y_1^* = 0) < 0$ ， $F'(y_2^* = 1) > 0$ ，所以  $y_1^* = 0$

是稳定均衡点；若  $x > x^* = \frac{C_F + \theta D_F - \mu_F Z}{P_F D_L (g-1) + \alpha D_L + \mu_L Z - \mu_F Z}$  时， $F'(y_1^* = 0) > 0$ ，

$F'(y_2^* = 1) < 0$ ，所以  $y_2^* = 1$  是稳定均衡点。

由此可知，在  $C_F + \theta D_F < P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z$  时， $x^*$  值的大小影响提供商的演化稳定状态，当  $x^*$  越大，则表明  $x$  在  $[x^*, 1]$  这个可取值的范围内变小，因此  $y_2^* = 1$  作为演化稳定点的概率就会缩小，即提供商选择信息共享的可能性就会降低。

### 3、集成商和提供商混合的演化博弈稳定性分析

上面一部分单独分析了集成商和提供商决策时的演化稳定策略，但是在双方进行博弈时，受到对方策略的影响，在不断试错的过程中，双方策略均会不断调整和修正，最终达到双方都满意的收益。

由上文可知，均衡点分别为： $E_1(0,0)$ ， $E_2(0,1)$ ， $E_3(1,0)$ ， $E_4(1,1)$ ，

$$E_5\left(\frac{C_F + \theta D_F - \mu_F Z}{P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z}, \frac{C_L + \theta D_L - \mu_L Z}{P_L D_F (g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z}\right)$$

根据 Friedman 的相关研究，雅可比矩阵可以用来判定演化博弈均衡点的稳定性，通过对复制动态方程即式 5.4 和 5.10 求导，可得雅可比矩阵 J 如下：

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} (1-2x)\{y[P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z] - C_L - \theta D_L + \mu_L Z\} & x(1-x)[P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z] \\ y(1-y)[P_F D_L(g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z] & (1-2y)\{x[P_F D_L(g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z] - C_F - \theta D_F + \mu_F Z\} \end{pmatrix}$$

当某均衡点满足雅可比矩阵的行列式  $\det(J) > 0$  且雅可比矩阵的迹  $\text{tr}(J) < 0$  时，可以判断出该均衡点就是该演化博弈的演化稳定策略。

该雅可比矩阵的行列式为：

$$\begin{aligned} \det J &= (1-2x)\{y[P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z] - C_L - \theta D_L + \mu_L Z\} \\ &* (1-2y)\{x[P_F D_L(g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z] - C_F - \theta D_F + \mu_F Z\} \\ &- x(1-x)[P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z] * y(1-y)[P_F D_L(g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z] \end{aligned}$$

该雅可比矩阵的迹为：

$$\begin{aligned} \text{tr} J &= (1-2x)\{y[P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z] - C_L - \theta D_L + \mu_L Z\} \\ &+ (1-2y)\{x[P_F D_L(g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z] - C_F - \theta D_F + \mu_F Z\} \end{aligned}$$

各均衡点稳定性分析结果如表 5.4 所示。

表 5.4 均衡点稳定性分析

均衡点	J 的行列式 (符号)	J 的迹 (符号)	结果
$E_1(0,0)$	$(\mu_L Z - C_L - \theta D_L)(\mu_F Z - C_F - \theta D_F)$ (+)	$\mu_L Z - C_L - \theta D_L + \mu_F Z - C_F - \theta D_F$ (-)	ESS
$E_2(0,1)$	$(C_F + \theta D_F - \mu_F Z) * [P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - C_L - \theta D_L]$ (+)	$P_L D_F(g-1) + \alpha D_L - C_L - \theta D_L + C_F + \theta D_F$ (+)	不稳定
$E_3(1,0)$	$(C_L + \theta D_L - \mu_L Z) * [P_F D_L(g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - C_F - \theta D_F]$ (+)	$P_F D_L(g-1) + \alpha D_F - C_F - \theta D_F + C_L + \theta D_L$ (+)	不稳定
$E_4(1,1)$	$[P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - C_L - \theta D_L] * [P_F D_L(g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - C_F - \theta D_F]$ (+)	$-[P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - C_L - \theta D_L] + [P_F D_L(g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - C_F - \theta D_F]$ (-)	ESS
$E_5$	$(\frac{C_F + \theta D_F - \mu_F Z}{P_F D_L(g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z}, \frac{C_L + \theta D_L - \mu_L Z}{P_L D_F(g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z})$		鞍点



由表 5.4 可知，物流服务供应链成员信息共享系统的 5 个局部平衡点中，仅有  $(0, 0)$  和  $(1, 1)$  点为演化稳定策略 (ESS)，分别对应集成商和提供商两个群体都选择信息不共享策略和都选择信息共享策略。此外， $(0, 1)$  和  $(1, 0)$  均为不稳定平衡点，而  $E_5$  点为系统的鞍点。

### 5.4.3 动态演化路径分析

由上一节中得到的结论可知，鞍点  $E_5$  的大小决定了集成商和提供商信息共享行为的演化趋势，本节将重点分析鞍点  $E_5(x^*, y^*)$  对演化稳定策略的影响。图 5.6 为复制动态相位图。

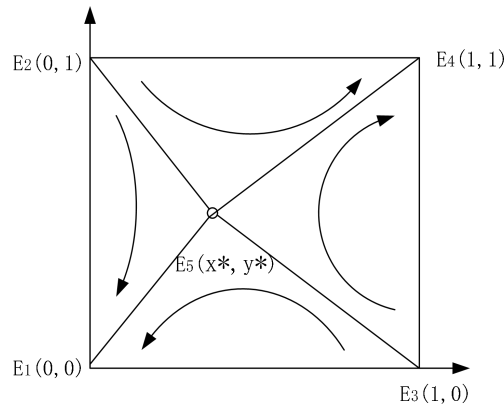


图 5.6 复制动态相位图

折线  $E_2E_5E_3$  是两种演化结果  $(0, 0)$  和  $(1, 1)$  的分界线，这两个区域是信息共享和信息不共享两种行为的分界线，在  $E_1E_2E_5E_3$  区域内，整体趋向于稳定点  $E_1(0,0)$ ，即演化过程逐渐稳定与双方均选择信息不共享策略；在  $E_2E_5E_3E_4$  区域内，整体趋向于稳定点  $E_4(1,1)$ ，即演化过程逐渐稳定于双方均选择信息共享策略。显然，临界点  $E_5(x^*, y^*)$  是物流服务供应链成员选择信息共享与否的关键点。当  $E_5(x^*, y^*)$  靠近  $E_1(0,0)$  时，区域  $E_1E_2E_5E_3$  的面积缩小，区域  $E_2E_5E_3E_4$  的面积在扩大，即双方选择信息共享的概率在增加，因此这个区域内，博弈双方倾向于选

择信息共享策略；反之当  $E_5(x^*, y^*)$  靠近  $E_4(1,1)$ ，区域  $E_2E_5E_3E_4$  的面积在缩小，而区域  $E_1E_2E_5E_3$  的面积在扩大，博弈双方倾向于选择信息不共享。即双方的演化稳定趋势是受  $S_0(E_1E_2E_5E_3)$  和  $S_1(E_2E_5E_3E_4)$  面积大小所影响，

$$S_0 = \frac{1}{2} \left[ \frac{C_F + \theta D_F - \mu_F Z}{P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z} + \frac{C_L + \theta D_L - \mu_L Z}{P_L D_F (g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z} \right]$$

$S_0$  的变化与企业双方的各项参数密切相关。下文将对各个参数进行分析。

#### 5.4.4 模型参数分析

由上文关于物流服务供应链信息共享行为的演化博弈分析可知，信息共享与否关键取决于

$$x^* = \frac{C_F + \theta D_F - \mu_F Z}{P_F D_L (g-1) + \alpha D_F + \mu_L Z - \mu_F Z}, \quad y^* = \frac{C_L + \theta D_L - \mu_L Z}{P_L D_F (g-1) + \alpha D_L + \mu_F Z - \mu_L Z},$$

从这两个式子可以看出，双方信息共享的意愿主要受双方的信息共享成本、信息共享量、风险因子、风险系数、激励系数、协同效益系数、信息吸收利用能力的影响，下文将主要对这些因素进行具体分析。

##### (1) 信息共享成本

在其他条件保持不变的情况下，当信息共享投入成本  $C_i$  增加时， $x^*$  和  $y^*$  都随之增大， $E_5(x^*, y^*)$  向右上方移动， $S_0$  的面积在增大，选择不共享的概率也在变大，系统最终会向（不共享，不共享）的方向演化并达到稳定。反之系统最终会向（共享，共享）的方向演化并达到稳定，因此信息共享成本对物流服务供应链成员信息共享行为是负向的影响。

##### (2) 信息共享风险系数

从  $E_5(x^*, y^*)$  的式子来看，当风险  $\theta$  增加时，点  $E_5(x^*, y^*)$  向坐标轴右上角， $S_0$  的面积在增大，选择不共享的概率也在变大，系统最终会向（不共享，不共享）的方向演化并达到稳定；反之亦然。因此，信息共享的风险系数对物流服务供应链成员信息共享行为是负向的影响。

##### (3) 信息共享程度

从  $E_5(x^*, y^*)$  的式子来看, 集成商和提供商选择信息共享的概率不仅受自身信息共享程度的影响, 同时也受对方信息共享程度的影响。而  $D_i$  的取值会使  $x^*$  和  $y^*$  的分母和分子都发生变化。当集成商的信息共享程度  $D_L$  增加时,  $x^*$  的分母加大, 当提供商的信息共享程度  $D_F$  增加时,  $y^*$  的分母加大, 因此鞍点  $E_5(x^*, y^*)$  向左下角移动, 则双方选择信息共享的概率会加大; 反之亦然。因此, 信息共享程度对物流服务供应链成员信息共享行为是正向促进的影响。

#### (4) 风险因子

在其他条件不变的前提下, 当  $\mu_i$  的取值变大时,  $x^*$  和  $y^*$  的值会变小, 点  $E_5(x^*, y^*)$  的位置向坐标轴左下方移动, 而区域  $s_1$  的面积在变大, 则供应链主体选择信息共享策略的概率变大; 反之亦然, 因此风险因子对物流服务供应链成员信息共享行为是正向促进的影响。

#### (5) 信息吸收能力

在其他条件不变的前提下, 当  $P_i$  的取值变大时,  $x^*$  和  $y^*$  的值会变小, 点  $E_5(x^*, y^*)$  的位置向坐标轴左下方移动, 而区域  $s_1$  的面积在变大, 则供应链主体选择信息共享策略的概率变大; 反之亦然。因此信息吸收能力对物流服务供应链成员信息共享行为是正向促进的影响。

#### (6) 协同系数

在其他条件不变的前提下, 当  $g$  的取值变大时,  $x^*$  和  $y^*$  的值会变小, 鞍点  $E_5(x^*, y^*)$  的位置向坐标轴左下方移动, 而区域  $s_1$  的面积在变大, 则供应链主体选择信息共享策略的概率变大; 反之亦然。因此协同系数对物流服务供应链成员信息共享行为是正向促进的影响。

#### (7) 激励系数

在其他条件不变的前提下, 当  $\alpha$  的取值变大时,  $x^*$  和  $y^*$  的值会变小, 鞍点  $E_5(x^*, y^*)$  的位置向坐标轴左下方移动, 而区域  $s_1$  的面积在变大, 则供应链主体选

择信息共享策略的概率变大；反之亦然。因此激励系数对物流服务供应链成员信息共享行为是正向促进的影响。

### 5.4.5 仿真分析

根据上述构建的演化博弈模型，构建系统动力学模型，如图 5.7 所示。

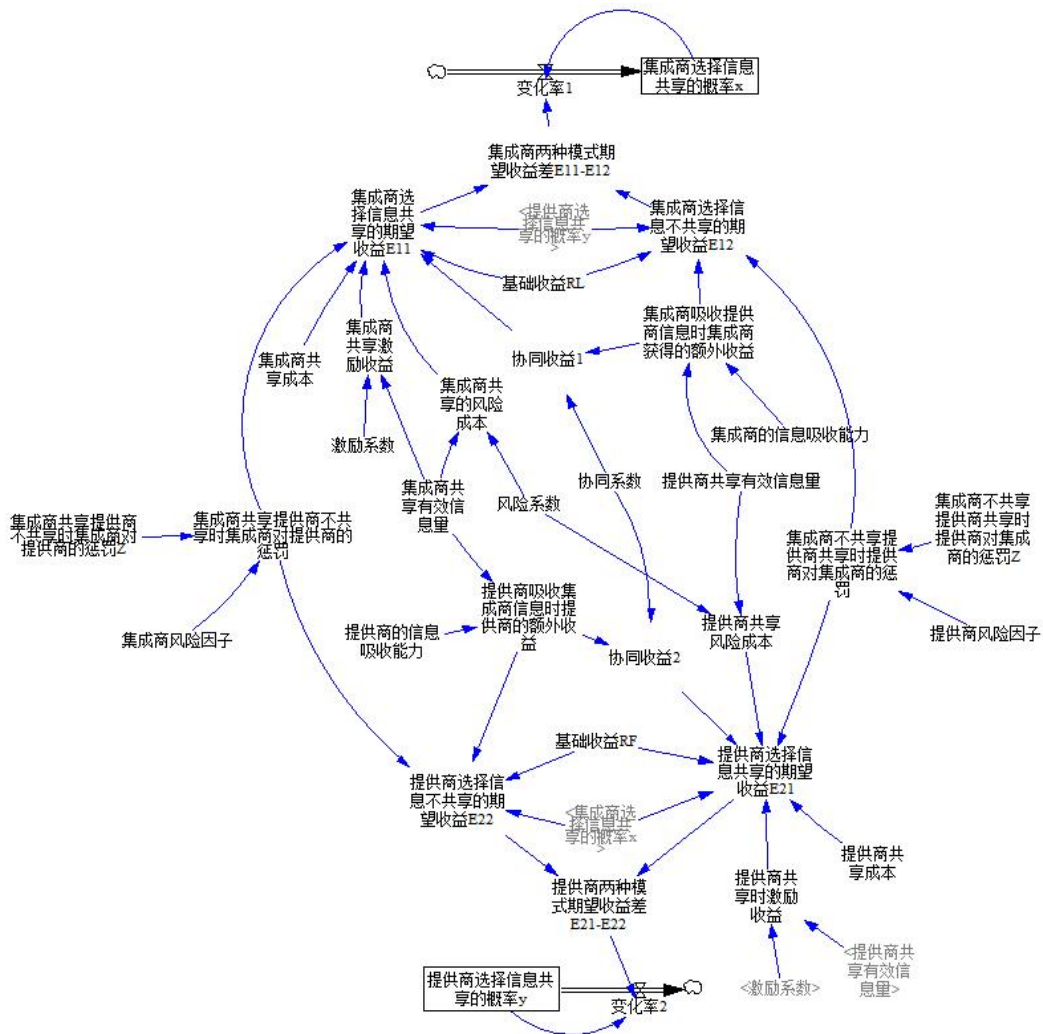


图 5.7 演化博弈模型

本部分主要是对各参数对信息共享行为的演化进行仿真分析，在 Vensim 软件中设置仿真周期为 10 个季度，通过收集相关资料对模型中需要的参数进行赋值，将各参数初始值设定为：

$$\theta = 0.4, D_L = 10, D_F = 8, \mu_L = 0.5, \mu_F = 0.4, Z = 6$$

$$P_L = 0.6, P_F = 0.4, \alpha = 1, g = 1.5, C_L = 6, C_F = 4$$

### 1、信息共享成本对演化结果的影响

图 5.8 是在其他参数不变的情况下，模拟信息共享成本  $C_L$ 、 $C_F$  对节点企业信息共享策略的影响。由图 5.8 可知， $C_L$  的阈值在 5-6 之间， $C_F$  在 3-4 之间，当信息共享成本大于该阈值时，集成商和提供商趋向于 (0, 0) 点，即集成商和提供商会选择不共享信息；当共享成本小于该阈值时，集成商和提供商趋向于 (1, 1) 点，即集成商和提供商会选择共享信息。

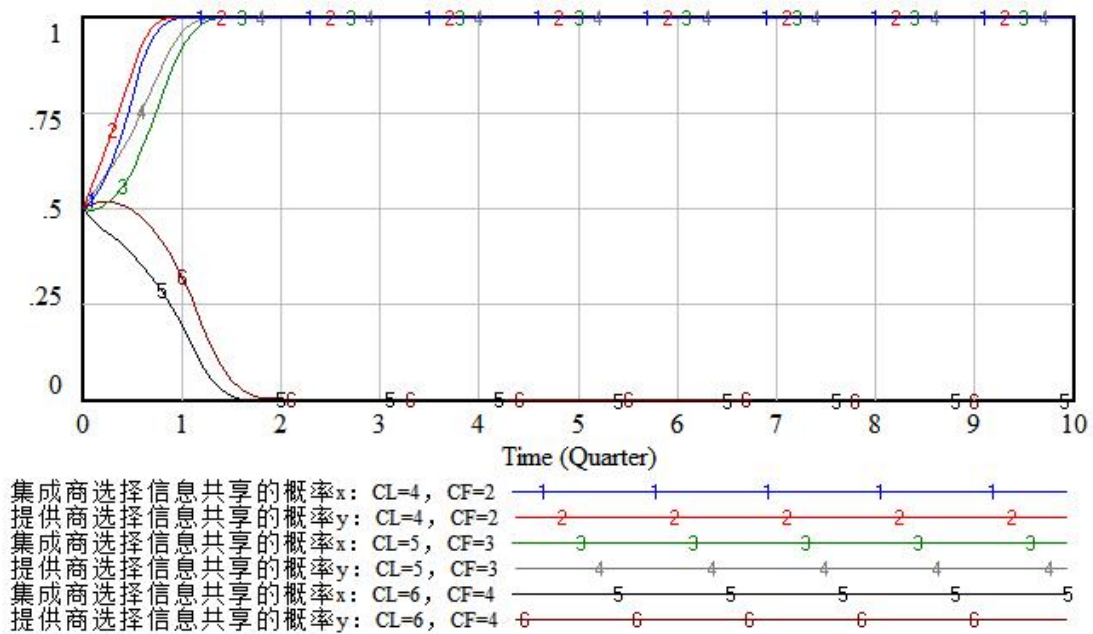


图 5.8 信息共享成本对演化结果的影响

企业选择信息共享策略时势必付出一定的成本，比如人力、沟通等费用和时间成本等，企业希望通过信息共享后能实现利润增加，但当增加的收益无法弥补越来越多的信息共享成本时，企业就逐渐转向信息不共享，而这种信息共享过程中产生的成本是多种因素作用的结果，譬如企业组织架构和信息技术的落后以及企业文化和经营理念等，因此要保证信息共享的有效实施，应尽量减少在信息共享过程所产生的不必要成本。

### 2、信息共享风险系数

由图 5.9 可知，在其他条件不变的情况下，信息共享风险系数  $\theta$  的阈值在 0.3-0.4 之间，当  $\theta$  小于这个阈值时，集成商和提供商趋向于 (1, 1)，即双方均选择信息共享策略，并且值越小，收敛的速度就越快；当  $\theta$  大于这个阈值时，集成商和提供商趋向于 (0, 0)，即双方均选择信息不共享策略，并且值越大，收敛的速度就越快。

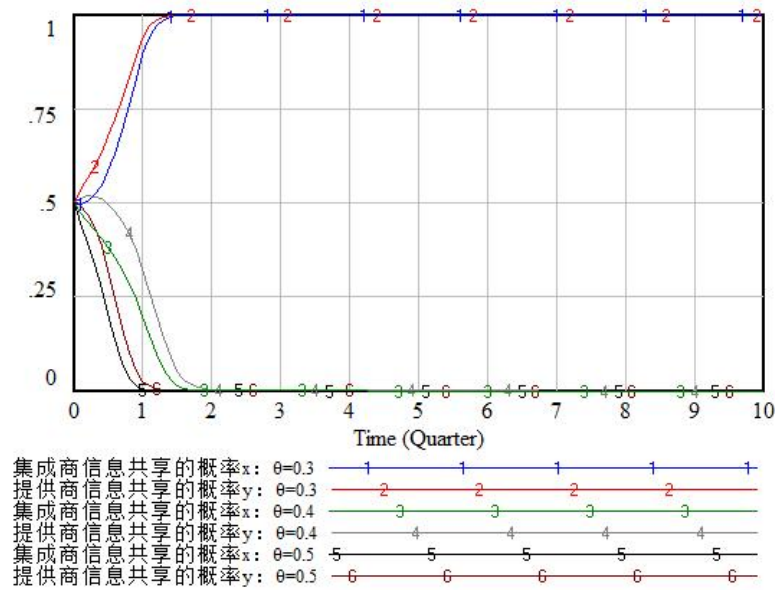


图 5.9 信息共享风险系数对演化结果的影响

信息共享的过程难免会存在外部不确定的风险因素，比如由于缺乏信任导致的信息被他人窃取、原先的优势地位丧失，风险系数与所提供商的信息量是成正比的，共享的信息量越多，其潜在风险越大，因此，企业应具备较强的风险防范意识，不断提升自身风险预估和处理能力，也可以成立专门的风控部门，及时化解风险，降低由外部风险对信息共享机制实施的阻碍。

### 3、信息共享量对演化结果的影响

由图 5.10 可知，总体而言，当其他条件一定的前提下，供应链主体共享信息量的阈值  $D_L$  在 11-12 之间， $D_F$  在 9-10 之间，当小于该阈值时，成员会逐渐趋向于 (0, 0) 点，并且即使当提供商初期率先采取信息共享策略时，但由于集成商选择不共享策略，因此提供商的共享意愿又缓慢下降直至趋于 (0, 0) 点，此时提供商趋于不共享的速度明显加快，当双方共享的信息量增加，超过阈值时，

集成商和提供商收敛于 (1, 1) 的速度加快。这是由于成员对信息共享程度较高时, 进行信息共享后获得的收益高于其共享的成本, 受高收益的吸引, 因此双方的共享意愿均较大, 因此可以鼓励成员进行深层次、多方面的信息交流, 但是同时也要防范其带来的外部风险。

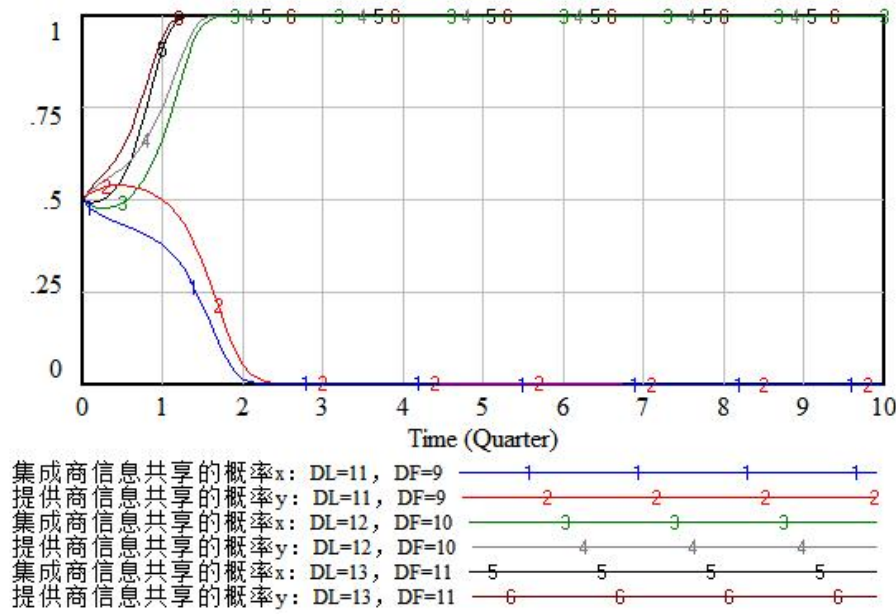


图 5.10 信息共享量对演化结果的影响

#### 4、风险因子

如图 5.11 所示, 在其他参数不变的情况下,  $\mu_A$  的阈值在 0.45-0.55 之间,  $\mu_F$  的阈值在 0.35-0.45 之间, 当  $\mu_L$  和  $\mu_F$  小于阈值时, 双方最终趋向于 (0, 0) 点; 当  $\mu_L$  和  $\mu_F$  大于阈值时, 双方最终趋向于 (1, 1) 点, 并且随着风险系数越大, 收敛于 (1, 1) 的速度越快, 风险因子代表着企业的风险厌恶度, 共享方对不共享方的惩罚程度取决于风险因子, 随着惩罚因子的增加, 共享方对不共享方的信息不共享行为越厌恶, 对不共享而言, 其损失也就越大, 而对共享方而言获益越多, 因此, 适当可以提高风险因子, 受惩罚成本的增加, 不共享方会逐渐提升信息共享意愿。

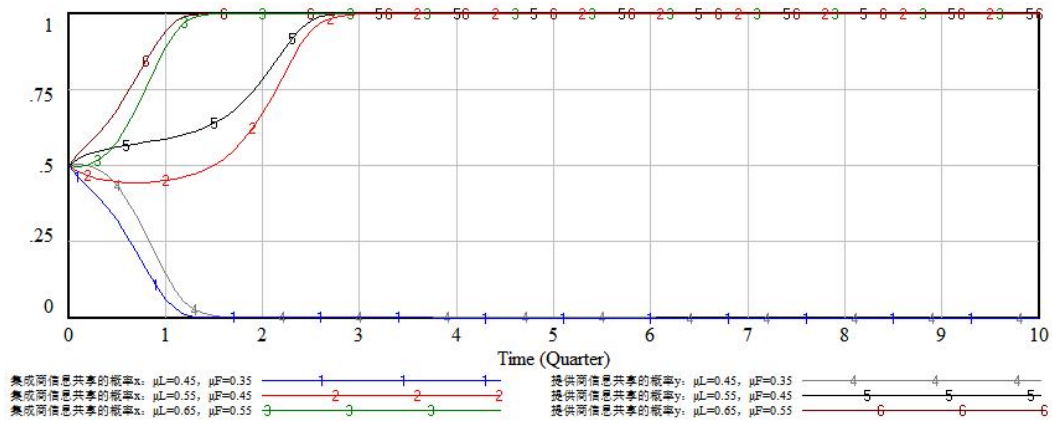


图 5.11 风险因子对演化结果的影响

### 5、信息吸收能力

在其他参数不变的情况下，由图 5.12 可以看出， $P_L$  的阈值在 0.6-0.8 之间， $P_F$  的阈值在 0.5-0.7 之间，在  $P_L$  和  $P_F$  小于该阈值时，双方趋向于 (0, 0)；当  $P_L$  和  $P_F$  大于该阈值时，双方趋向于 (1, 1)。信息吸收能力代表着获取和处理信息的能力，当该能力越强时，企业便能够从中获取更多的利益，因此企业要不断地提升自己的信息吸收能力，加强信息技术改革，引进先进的信息处理系统，同时提升企业内相关人员的信息素质，这样才能在“信息爆炸”的时代提升企业的竞争力。



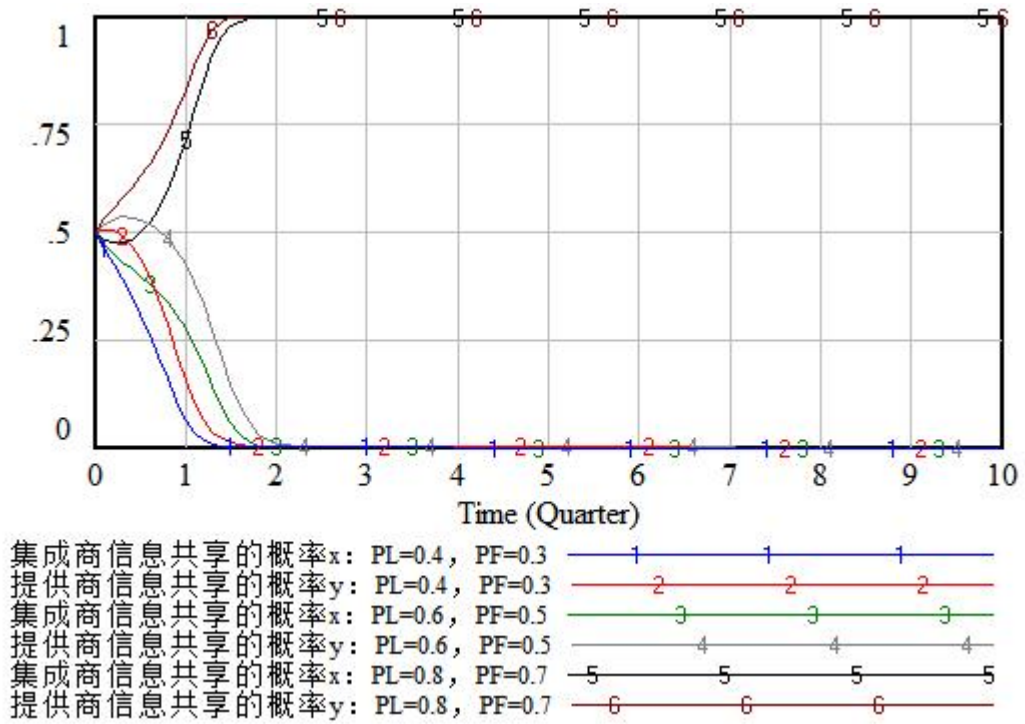


图 5.12 信息吸收能力对演化结果的影响

### 6、协同系数

由图 5.13 中可以看出，协同系数的微小变动就会影响企业的演化结果，会对节点企业的策略选择产生较大的影响， $g$  的阈值处于 1.6-1.7 之间，当  $g$  小于阈值时，双方的演化趋势为 (0, 0)；当  $g$  大于阈值时，双方的演化趋势为 (1, 1)，并且在同样的  $g$  的条件下，提供商的收敛速度更快。物流服务供应链各节点企业应抓住企业融合发展的机遇，企业之间不断进行交流和沟通，加强彼此之间的信任和合作，增加信息共享的协同收益。

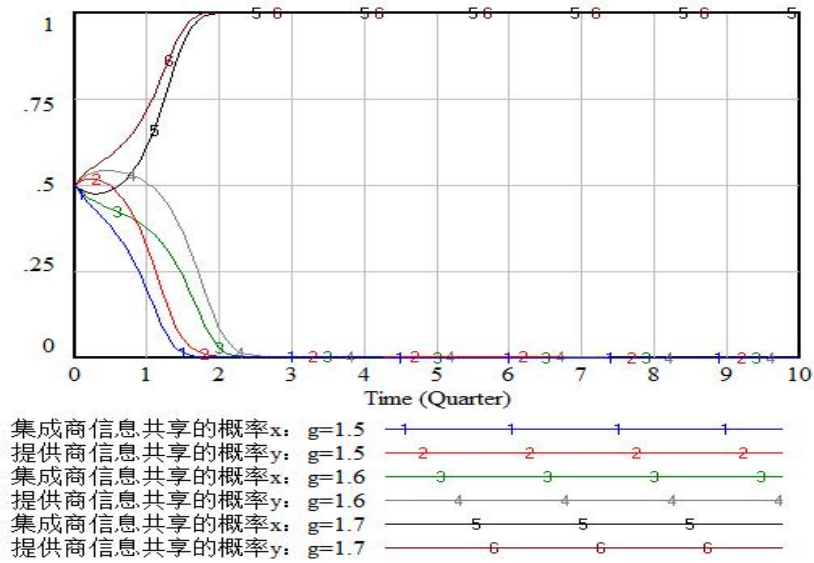


图 5.13 协同系数  $g$  对演化结果的影响

7、激励系数

如图 5.14 所示， $\alpha$  的阈值在 1-1.1 之间，当  $\alpha$  小于阈值时，双方的演化趋势为 (0, 0)；当  $\alpha$  大于阈值时，双方的演化趋势为 (1, 1)。在信息共享的多主体之间建立完善的信息共享激励机制，一方面对于采取信息共享策略的企业给予一定的奖励，另一方面可以引导其他不共享的节点企业主动参与信息共享。

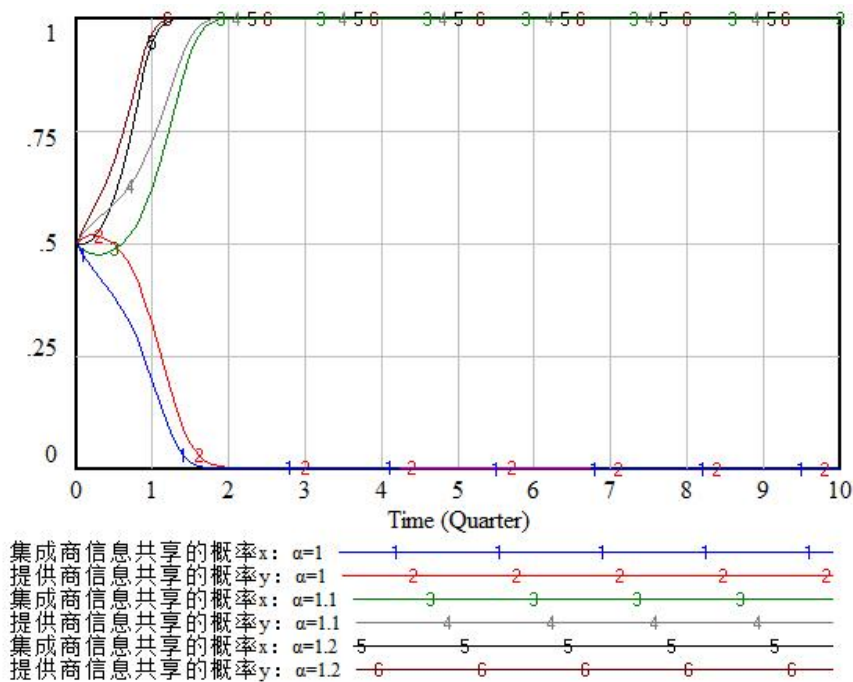


图 5.14 激励系数  $\alpha$  对演化结果的影响

根据上文模型的构建与仿真,可以得到信息共享成本、共享风险系数、共享信息量、风险因子、信息吸收能力、协同系数和激励系数都对于供应链成员的信息共享行为有着重要的影响,并且信息共享成本和共享风险系数对决策者选择信息共享的行为有负向影响,而共享信息量、风险因子、信息吸收能力、协同系数和激励系数对其有正向促进作用。

为了进一步增加物流服务供应链成员的信息共享意愿,降低信息共享过程中可能存在的阻碍,对此提出以下建议:

(1) 尽可能地降低信息共享的成本,提升风险的预测和防范能力。避免信息共享过程中产生的不必要的成本,融合各方经营理念,降低沟通成本,提升信息技术,搭建信息共享平台,建立专门的风控部门,完善风险监测和防范机制,避免外部风险损害成员的利益。

(2) 企业之间形成良好的信息共享氛围。参与企业之间通过举办相关活动进行交流并建立密切联系,提高彼此之间的信任度,良好的信任关系会使成员共享的意愿加强,加深信息共享的深度和广度;参与企业自身提升风险因子,对风险越厌恶,便会增加对方不共享时的成本,也就是对其“搭便车”行为给予一定的惩罚后,才能够有效遏制这种行为,规范成员信息共享行为;参与企业改善信息吸收能力,目前,企业普遍存在信息及数据利用率低的现象,对于大量的数据无法有效利用,造成无法对市场做出更快的反应以及为用户提供更好的服务,因此信息化对于企业而言至关重要,企业可以通过引进先进的信息技术,加大对于人才的引进与培养来改善这一现象,游刃有余地处理和吸收企业间共享的信息,灵活应对市场的变化;企业之间明确统一的目标,提升整个物流服务供应链利润,相互协商,加强协作,保证各个节点企业之间的信息交互更加顺畅。

## 5.5 本章小结

本节运用系统动力学的方法构建物流服务供应链能力决策的信息共享模型,并选取物流服务能力决策量、持有量和牛鞭效应值为评价指标与基础模型进行对比仿真分析,结果表明:在不具备信息共享机制下,系统中存在着严重的牛鞭效应,通过加入信息共享机制后,牛鞭效应明显减弱,并且能力决策量和持有量的大小和波动降低,提高了整个物流服务供应链的市场感知和物流资源调整能力,

对于物流服务供应链的可持续发展有重要作用。最后基于演化博弈理论，研究物流服务供应链成员信息共享行为的演化稳定点，以及相关参数对信息共享行为策略选择的影响进行仿真分析，得到成员愿意改变策略的参数的阈值范围。

## 6 结论与展望

### 6.1 主要结论

本文通过对物流服务供应链能力决策及信息共享行为进行研究,得出如下结论:

(1) 在需求和产出均存在随机扰动的现实条件下,基于传统的博弈论构建单周期下的物流服务供应链能力决策模型,集成商与提供商的决策过程构成 stackelberg 博弈,运用逆向归纳法求解得到博弈均衡解,即最佳的能力订购量和投资储备量,发现能力投资量的值明显大于订购量的值,两个变量均受到能力产出因子、零售价等的影响,并且能力订购量与能力产出量呈正向相关关系,引入能力订购-投资储备系数来表示两者之间的关系,该系数除了受批发价、单位惩罚成本、残值、单位能力投资成本的影响外,也受产出率的影响,产出率均值越大,该系数越大,产出率方差越大,该系数越小。

(2) 将博弈论与系统动力学相结合,分析能力决策值的多周期动态演化规律。结果表明,投资量对订购量有着较高的依赖性,并从物流服务能力决策变量和物流服务能力持有量以及牛鞭效应值这三个角度进行仿真分析,仿真结果表明物流服务供应链能力决策中存在着明显问题,提供商的投资量均值及波动明显大于市场需求的均值及波动,物流服务能力持有量波动幅度也较大,牛鞭效应值高达 3.55。在物流服务能力决策基础模型中,不存在任何的协调机制下,物流服务供应链中确实存在严重的牛鞭效应,并且会沿着供应链逐级向上游放大,致使整个物流服务供应链在一定程度上受损。

(3) 将信息共享机制引入到能力决策基础模型,构建 SD 信息共享模型,仿真结果表明,相比于基础模型,信息共享模型下能力决策量的波动幅度减小,且牛鞭效应值减小为 1.43,能力提供相对较为稳定,不再盲目地订购或者投资储备过量的物流服务能力,在一定程度上减少了资源的浪费,物流服务供应链能力决策得以协调优化。

(4) 基于演化博弈理论研究物流服务供应链节点企业信息行为选择策略,通过求解分析,物流服务供应链成员信息共享策略在双方都选择信息共享和双方都选择信息不共享两种情况下趋于动态稳定,并且信息共享成本和共享风险系数

对决策者选择信息共享的行为有负向影响，而共享信息量、风险因子、信息吸收能力、协同系数和激励系数对其有正向促进作用，并且存在着改变演化路径的阈值，最终给出相应对策，通过这些对策，节点企业可以增强合作的意愿，促进物流服务供应链的发展更加的稳定与协调。

## 6.2 未来展望

针对目前物流服务供应链能力决策的不足，引入产出不确定随机因子，构建基于需求和产出均存在随机扰动的物流服务能力决策模型，重点研究物流服务提供商的能力投资储备决策和集成商的能力订购决策，从静态和动态两个角度进行研究，最终从信息共享的角度来优化决策，弱化牛鞭效应，虽然取得一定的成果，但仍然存在不足之处：

(1) 本文的研究对象依旧局限于两级物流服务供应链，研究的主体仅为单一的集成商和提供商，但是在实际的物流运作过程中，会涉及多个主体，比如多级的物流分包商等，因此，可将本文的研究由一对一逐渐扩展到一对多、或者多对多的多级物流服务供应链，促使对于物流服务供应链的研究更加全面，也具有更为重要的现实意义。

(2) 本文的研究主要是理论研究，通过构建数学建模并求解，采用数值仿真证明相关结论，缺乏与实际案例的结合。未来的研究可以搜集相关企业的实际数据，对模型进行改进和优化。

## 参考文献

- [1]田宇.物流服务供应链构建中的供应商选择研究[J].系统工程理论与实践,2003,2(5):49-53.
- [2]申成霖,汪波.基于 AHP 方法的物流服务供应商选择决策研究[J].西北农林科技大学学报(社会科学版), 2005,24(3):70-73.
- [3]闫秀霞,孙林岩,王侃昌.物流服务供应链模式特性及其绩效评价研究[J].中国机械工程,2005,12(11):969-973.
- [4]阳明明.香港的港口服务型供应链[J].中国物流与采购.2006,(10):56-58.
- [5]刘伟华.物流服务供应链能力合作的协调研究[D].上海交通大学,2007:56-60.
- [6]穆东.供应链系统的复杂性构成分析[J].中国流通经济,2006, 23(8):10-12.
- [7]Meiling He,Junping Xie,Xiaohui Wu,Qifan Hu,Yu Dai. Capability Coordination in Automobile Logistics Service Supply Chain Based on Reliability[J]. Procedia Engineering,2016,137.
- [8]刘伟华.物流服务供应链能力合作的协调研究[D].上海交通大学,2007.
- [9]薛海欣. 考虑服务水平的物流服务供应链联合契约协调模型[D].东北大学,2015.[10]桂云苗,龚本刚,程幼明.需求不确定下物流服务供应链协调[J].计算机集成制造系统,2009,15(12):2412-2416+2438.
- [11]孟丽君,黄祖庆.二级物流服务供应链的供应链契约选择研究[J].重庆大学学报(社会科学版),2012,18(03):64-72.
- [12]张广胜,刘伟,高志军.考虑供给风险的物流服务供应链能力应急采购设计[J].统计与决策,2018,34(08):43-47.
- [13]刘艳秋,蔡超.考虑可靠性的物流服务供应链期权契约模型[J].中国流通经济,2017,31(10):37-45.
- [14]Bowersox D J,Closs D J,LIN Guolong,et al.Logistics management:the integrates supply chain process[M].Bei jing:China Machine Press.1998,1-30(in Chinese).
- [15]梁雅丽,吴清烈.基于能力的供应链物流优化途径研究[J].科技情报开发与经济,2007(03):136-138.
- [16]马士华, 陈习勇.供应链环境下的物流能力构成及其特性研究[J]管理学报,2004,(1):107-111.

- [17]申文, 马士华, 陈潇. 供应链环境下的物流能力[J]. 中国物流与采购, 2006(22):72-73.
- [18]王晓立, 马士华. 需求信息更新下物流服务能力采购优化研究[J]. 工业工程与管理, 2010, 15(03):31-34.
- [19]刘晓鹤. 基于需求信息更新的物流能力决策研究[D]. 北京交通大学, 2015.
- [20]付秋芳, 赵淑雄. 基于多目标二层规划的服务供应链服务能力协同决策模型[J]. 中国管理科学, 2012, 20(06):61-69.
- [21]宋杰珍, 黄有方, 谷金蔚. 信息对称与非对称环境下基于补偿合约的物流能力协调研究[J]. 中国管理科学, 2017, 25(06):71-81.
- [22]王志宏, 邵奇明, 王晓锋. 考虑即时采购价格的物流服务供应链优化[J]. 运筹与管理, 2016, 25(02):36-39+62.
- [23]王一家. 需求更新环境下基于行为的物流服务供应链协调策略[D]. 天津大学, 2016.
- [24]Weihua Liu, Meili Wang, Donglei Zhu, Li Zhou. Service capacity procurement of logistics service supply chain with demand updating and loss-averse preference[J]. Applied Mathematical Modelling, 2018, 66.
- [25]Weihua Liu, Wanying Wei, Donglei Zhu. Service capacity procurement in logistics service supply chain with demand updating and reciprocal behaviour[J]. European Journal of Industrial Engineering, 2021, 15(1).
- [26]朱冬蕾. 需求更新条件下物流服务供应链成员的行为研究[D]. 天津大学, 2018.
- [27]李剑锋, 陈世平, 黄祖庆, 汤易兵. 基于期权与集成商风险规避的物流服务供应链协调[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(05):1105-1114.
- [28]张广胜, 刘伟. 考虑价格风险的物流服务供应链能力组合采购决策[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(08):2109-2118.
- [29]郭龙. 基于契约的随机产出和需求下的物流服务供应链协调研究[D]. 北京科技大学, 2020.
- [30]王晓立, 马士华. 供应和需求不确定条件下物流服务供应链能力协调研究[J]. 运筹与管理, 2011, 20(02):44-49.



- [31] 崔爱平,刘伟.物流服务供应链中基于期权契约的能力协调[J].中国管理科学,2009,17(02):59-65.
- [32] 李堃静. 物流服务供应链服务能力协调及质量监督研究[D].燕山大学,2014.
- [33] 程楠. 供需不确定下供应商和零售商均是风险厌恶的供应链协调[D].广西大学,2020.
- [34] 经有国,徐洋,杨璐.基于收益共享的两 FLSPs 物流服务供应链协调契约[J].统计与决策,2015(05):48-51.
- [35] 李堂奎. 三级物流服务供应链节点物流企业的服务能力协调研究[D].北京交通大学,2016.
- [36] 袁旭梅,李堃静,宓翠.基于期权回购契约的物流服务供应链协调研究[J].计算机应用研究,2015,32(09):2643-2646.
- [37] 刘舰,李引珍.基于惩罚机制的公-铁联运企业行为的协调[J].中国管理科学,2016,24(04):167-176.
- [38] Lee H L, Padmanabhan V, Whang S. The bullwhip effect in supply chain[J]. Sloan Management review, 1997, 38: 93-102.
- [39] 邵必林,胡为维.不同补贴对象下闭环供应链信息共享价值研究[J].数学的实践与认识,2021,51(04):34-46.
- [40] Ganesh Iyer, Chakravarthi Narasimhan, Rakesh Nirajv. Information and Inventory in Distribution Channels[J]. Management Science, 2007, 53(10): 1551.
- [41] 王敏敏. 风险规避型零售商的信息共享价值研究[J].佳木斯大学学报(自然科学版), 2021, 39(03): 159-163.
- [42] 胡晓青. 零售渠道竞争环境下供应链需求信息共享研究[D].浙江工业大学, 2020.
- [43] 李孟璠. 绿色产品供应链的信息共享策略研究[D].兰州大学, 2020.
- [44] 宦梅丽,陈鹏飞,张莉,侯云先.突发事件下的乳制品供应链信息共享机制[J].中国科学技术大学学报, 2019, 49(06): 506-516.
- [45] 石园,曹磊,张智勇.基于系统动力学的社区养老服务供应链信息共享模型[J].系统科学学报, 2018, 26(02): 121-125.

- [46]官子力.制造商提供服务下产品服务供应链的需求信息共享策略研究[D].重庆大学,2019.
- [47]杨善林,程飞,杨昌辉.服务供应链的信息共享机制及绩效研究[J].中国工程科学,2011,13(08):80-86.
- [48]周娴娴,赵宏霞.基于系统动力学的物流服务供应链信息共享模型构建[J].商业经济研究,2019(12):87-89.
- [49]卢安文,刘佳奇.物流服务供应链信息共享激励策略研究[J].科技管理研究,2019,39(07):221-225.
- [50]蔡云飞,邹飞.物流服务供应链及其构建[J].企业改革与管理,2006,(8):17-18.
- [51]刘伟华,季建华,顾巧论.物流服务供应链两级合作的质量监控与协调[J].工业工程与管理,2007,12(3):47-52.
- [52]唐纳德·沃特斯(刘秉镰,韩勇译)物流管理概论[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [53]段玮,齐舆,巩芳,徐德生.系统动力学与经济管理理论及方法结合研究综述[J].统计与决策,2022,38(02):41-46.
- [54]Smith J M , Price G R.The Logic of Animal Conflict[J].1973,246(5427):15-18.
- [55]Taylor P D,Jonker L B.Evolutionary Stable Strategies and Game Dynamics[J].Mathematical Biosciences,1978,40(1-2):145-156.
- [56]张未未.基于随机产出与二次订购的损失厌恶集成商订购策略[J].工业工程与管理,2021,26(05):38-45.
- [57]石园,曹磊,张智勇.基于系统动力学的社区养老服务供应链信息共享模型[J].系统科学学报,2018,26(02):121-125.
- [58]Lee, Hau L.Padmanabhan,V.Whang, Seungjin,Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect[J]. Management Science, 1997,43(4), 546 - 558.
- [59]F. Chen, Z. Drezner, J.K. Ryan, D. Simchi-Levi, Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: the impact of forecasting, lead times, and information, Management Science,2000,46(3):436-443.
- [60]J. Dejonckheere; S.M. Disney; M.R. Lambrecht; D.R. Towill.Transfer function analysis of forecasting induced bullwhip in supply chains[J].International Journal of Production Economics,2022,78:133-144.

- [61]Tang, Lichun; Li, Jiayu,Simulation Analysis of Bullwhip Effect in Logistics Service Supply Chain Based on Vensim[J].International Conference on Management and Service Science,2011,2(2):14-253.
- [62]桂寿平,丁郭音,张智勇,石永强.基于 Anylogic 的物流服务供应链牛鞭效应仿真分析[J].计算机应用研究,2010,27(01):138-140+144.
- [63]吴洁,陈璐,盛永祥,车晓静,施琴芬.考虑风险的产业技术联盟知识共享演化博弈研究[J].运筹与管理,2018,27(11):36-42.

## 致谢

时光飞逝，回首既往三年，得到了许多的关心与帮助，借此机会，对所有老师的谆谆教诲与辛勤指导以及曾经帮助过我的同学们和父母亲人道一声最真挚的感谢！

首先，感谢我的导师彭会萍老师。在学术上，从前期论文的阅读及汇报到后期论文的撰写，这各个阶段都是在彭老师悉心指导下完成的，彭老师一稿一稿地对我的论文进行修改批注，并给予我修改意见，对论文严格把关，我的论文才得以顺利完成；在生活中，彭老师亦师亦友，像母亲一样对我们倍加关爱，还嘱咐我们要劳逸结合。三年时光虽短，但导师的教导永生难忘，彭老师与我们的交流总是慢条斯语、温文尔雅，在不断地交流过程中，我也从中学到了很多做人的道理，再次向恩师致以最真诚的谢意！

其次，我还要感谢曹晓军老师，曹老师是一个特别有责任心的老师，他思维敏捷、思路开阔，指引我查找相关文献和资料的方向，并且对我的论文总是能一针见血，指出我论文中存在的问题。曹老师广博的学识，儒雅的风度，是我学习的榜样。希望未来曹老师能够身体健康，万事如意！

还要感谢实验室的张克宏老师以及师姐、同门、师弟和师妹，实验室六个人，我们虽然都身处他乡，思念家乡成为日常，但是正是我们互相之间的关怀，使得失落、孤独都烟消云散。让我记忆犹新的是去年一整个炎热的暑假，留校期间所经历的点点滴滴都如此难忘。在写论文期间，他们很积极地帮我查资料、提建议，非常感谢他们对我的帮助，也祝愿他们未来可期，未来日子常记起，你我友谊永不离！

深深地感谢呵护我成长的父母，虽然我们都不善于表达，但是女儿都明白，爸妈将全部的心思花在自己的儿女身上，没日没夜拼命地挣钱，在精神和物质上给予我支持，让我以极大的热情投入到科研工作中。十年的在外求学之路，牵动着他们的心，未来，我将常伴于父母身边，回报他们对我的生育和养育之恩。

## 攻读硕士学位期间发表论文及科研情况

[1]彭会萍,李雅梦,顾振辉.考虑服务质量竞争的物流服务供应链契约协调机制研究[J].商学研究,2021,28(02):83-95.

[2]曹晓军,顾振辉,李雅梦,彭会萍.4PL 平台与物流服务提供商合作演化博弈研究[J].商学研究,2021,28(06):22-33.

[3]参与撰写《中国智慧物流》，出版时间，2022.3，出版社：中国财政经济出版社.