

文章编号: 1001-0920(2004)10-1081-05

供需链管理中合同定量研究及其发展

张 龙, 宋士吉, 刘连臣, 吴 澄

(清华大学 国家 CMS 工程技术研究中心, 北京 100084)

摘 要: 描述了供需合同在供需链分布决策中所起的作用, 分析了几种常用合同策略的激励机制及相互关系。从合同策略形式、供需链结构建模、市场需求建模、采购供应过程建模、信息建模 5 个方面对供需合同问题的研究进展作了总结。最后分析了当前该领域存在的不足, 指出了今后可能的研究方向。

关键词: 供需链管理; 供需合同; 博弈论; 协调

中图分类号: F22 **文献标识码:** A

The prospects of quantitative study on contract of supply chain

ZHANG Long, SONG Shi-ji, LIU Lian-chen, WU Cheng

(CMS Engineering Research Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China Correspondent: ZHANG Long, Email: zhanglong99@mails.tsinghua.edu.cn)

Abstract: The functions of the contracts in the distributed decision of the supply chain management are described. Then, the stimulative mechanism of many simple contracts and their relationships are analyzed. The investigations on these approaches are reviewed from the following five aspects: strategic form of contract, modeling of supply chain structure, modeling of demand, modeling of replenishment process, and modeling of information. Finally, the shortages of these studies are analyzed in current research, and possible research directions are pointed out.

Key words: supply chain management; supply contract; game theory; channel coordination

1 引 言

供需链管理的主要目标是通过控制和协调系统中各个实体及其行为, 达到降低成本、提高产品质量和改善服务水平等目的, 从而提高整个系统的综合竞争力。近年来, 激烈的市场竞争, 多样化和个性化的顾客需求以及不断提高的消费水平, 向市场提出了新的要求, 供需链管理也随之成为企业适应全球竞争的有效管理模式和理论界的一项重要研究课题^[1]。决策的分布性和诸多因素的不确定性是供需链管理的两个显著特征。来源于供应、制造和需求等环节的不确定性因素大大增加了决策的难度; 而决策的分布性又会加剧不确定因素的影响, 使系统性能进一步恶化, 比如著名的“牛鞭效应”。通过调节

供需链各实体决策之间的耦合关系, 引导各实体作出正确的决策, 是缓解分布性和不确定性对供需链造成不利影响的有效措施之一。

企业与企业的交易关系, 大都表现为供需合同的形式。从这个角度上说, 供需链是由供需合同联系起来的企业集合, 其中的物流、信息流和资金流可看作合同执行的具体表现。因此, 供需链实体之间的耦合关系可用供需合同进行控制。研究企业间供需合同策略的激励机制、本质特性和相互关系, 从而针对供需链结构设计合理的合同策略, 降低不确定性与分布决策的相互影响, 并优化供需链业绩, 具有重要的理论意义和实用价值。本文讨论的供需合同问题属于供需链计划阶段的定量研究问题^[2-5]。

收稿日期: 2003-11-06; 修回日期: 2003-12-18

基金项目: 国家 973 计划基金资助项目 (2002cb312205)。

作者简介: 张龙 (1977—), 男, 陕西西安人, 博士生, 从事供需链管理、建模与优化的研究; 吴澄 (1940—), 男, 浙江桐乡人, 中国工程院院士, 教授, 博士生导师, 从事复杂系统建模、智能优化等研究。

2 问题描述

供需链系统一般具有复杂的网状结构, 各实体的决策可抽象为以经营指标为目标函数的数学规划问题, 规划问题的约束是外界限制和实体间供需合同. 本文以两实体组成的串行供需链系统为例, 其结构如图 1 所示.

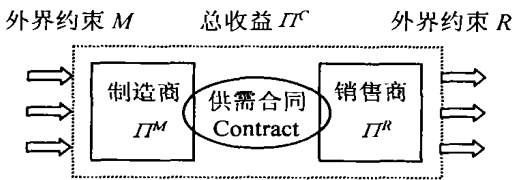


图 1 供需链结构

供需合同只作用于交易双方, 是系统的内部行为, 并不影响集中决策的效果. 集中决策可写成如下形式:

$$\begin{aligned} \Pi^C = \text{Max}(\text{系统总收益}), \\ \text{s.t. 外界约束 } M, \text{ 外界约束 } R. \end{aligned}$$

分布决策时, 决策由供应商和销售商独立制订, 合同成为实体间的约束, 则问题可写成:

$$\begin{aligned} \text{供应商: } \Pi^M = \text{Max}(\text{供应商收益}), \\ \text{s.t. } \begin{cases} \text{外界约束 } M, \\ \text{供需合同 Contract}; \end{cases} \\ \text{销售商: } \Pi^R = \text{Max}(\text{销售商收益}), \\ \text{s.t. } \begin{cases} \text{外界约束 } R, \\ \text{供需合同 Contract} \end{cases} \end{aligned}$$

此时系统总收益为 $\Pi^d = \Pi^R + \Pi^M$, 显然 $\Pi^d < \Pi^C$. 供需合同研究主要解决以下问题:

1) 供需合同是对企业的约束, 随着供需链模型复杂性的增加, 最优决策的确定越发困难, 如何寻找供需合同框架下企业的最优决策是供需合同定量研究的重要基础.

2) 合同策略可以激励企业, 均衡供需双方的风险和收益, 从而在一定的条件下使分布决策与集中决策的结果相一致, 即 $\Pi^d = \Pi^C$, 这时系统达到协调状态. 寻找适当的合同策略促使供需链达到协调是问题研究的关键.

3) 即使在一些合同策略下系统总体性能能够提高, 但如果其中某个个体收益下降则该策略也是不可行的. 因此, 研究合同策略的同时还要兼顾其柔性, 即总效益在系统中各实体间的分配能力. 在柔性高的合同策略下, 只要总体效益提高, 系统就能实现帕雷托改进, 达到共赢的目的.

供需链合同策略研究可从 5 个方面着手, 即: 合

同策略形式, 供需链结构建模, 市场需求建模, 采购供应过程建模, 信息分布建模.

3 合同策略形式

Jeuland 对批发合同策略进行研究, 证明该策略容易造成供需双方边际收益与边际支出不平衡, 从而导致双边边际效应^[6]. 使用适当的合同策略对决策者加以引导和激励, 促使他们作出有利于全局的决策, 可使整个供需链系统的性能得到改善. 常见的改善供需链性能的策略包括: 折扣、最小采购数量、柔性订货、回购、减免折扣等. 这些策略可以单独使用, 也可以综合利用.

3.1 折扣策略

折扣策略是指产品的价格随着订货数量的增加而变化的一种定价策略. 由于产品的边际价格会随着采购数量的增加而减少, 销售商倾向于提高订货量来降低成本, 以缓解双边边际效应的影响, 改善整个系统的性能. 常用的折扣策略包括数量折扣和双边价格. 数量折扣是指供应商根据销售商的订货数量对产品的价格给予一定的调整, 双边价格是在批发价格策略的基础上增加固定采购成本.

Weng 使用经济订货数量模型 (EOQ), 市场需求为销售价格的确函数, 发现上述两种策略在一定条件下是等价的, 都能达到协调状态^[7], 但当固定费用与采购数量有关时, 只能使用双边价格. 一般说, 数量折扣在实际中应用更广泛, 而双边价格策略在理论分析中容易使用 (连续函数, 二阶可导), 对一些特殊问题效果更好.

3.2 最小采购数量策略

经典的供需链研究对销售商的采购一般不加限制, 销售商的采购行为非常灵活, 但对于供应商, 这种灵活性加大了对销售商需求的认知难度. 为提供满意的服务水平, 确保较高的订单满足率, 供应商要么扩大生产能力, 要么提高自己的库存水平, 这些都增加了供应商的成本, 从而破坏了整个供需链的性能. 实际中供应商往往通过合同要求销售商作出最小订货数量的承诺, 这也使它成为提高供需链性能的一种手段.

Bassok 分析了简单报童模型, 采用最小采购数量合同销售商的最优采购策略, 并推广到多周期的情况^[8]. 在该策略下忽略固定采购成本, 最优策略一般为基准库存策略; 而考虑固定采购成本, 则最优策略一般为 (s, S) 的形式, 即当库存水平小于 s 时, 订货使其达到事先设定的目标库存水平 S .

3.3 柔性订货策略

柔性订货策略是最低采购数量策略的一种扩展。销售商可根据市场变化对先前的订货量进行一定的修订,越接近销售期,销售商对市场的需求预测越准确,但供应商的生产提前期越短,需求变化越大,成本也越高。柔性策略的优点在于合理地解决了这一矛盾,既允许销售商更好地利用市场信息,又对供应商的需求起到了相对的平滑作用,从而使供需双方共担风险,共享收益,提高供需链系统的性能。该策略在 IT 产业应用得非常普遍^[9]。

Barnes 运用单供应商和单销售商的链状模型,将整个采购过程分为两个周期,销售商可根据第 1 周期观测的市场信息对市场需求进行预测,得到供需链达到协调的条件,其模型更具普遍意义,许多简单合同策略都可作为该模型的特例^[10]。Li 等假设市场的需求确定,价格随机变化,在考虑柔性订货数量的基础上,同时考虑时间柔性,发现如果库存成本较低,则机会成本较高,时间柔性可显著地提高系统收益^[11]。

3.4 回购策略

回购策略是指供应商在销售季节结束后,将销售商没有售完的货物按一定的价格收购。其目的是给销售商一定的保护,引导销售商增大采购量,使需求不确定性而产生的风险由供应商和销售商共同承担,平衡供应商和销售商的边际收益和边际成本,从而协调供需链。

Pasternack 针对简单报童模型对回购策略进行研究,发现供应商无限地按批发价格回购或不回购都无法达到供需链协调状态,只有当回购价格低于批发价格或回购部分剩余产品时,才可能达到协调状态,供需双方可按任意比例分配收益^[12]。

值得注意的是,当市场需求与价格无关且销售商无法对需求产生影响时,回购合同策略与共享收益合同策略是等价的,但前者可操作性更强。

3.5 减免折扣策略

减免折扣策略是指供应商根据销售商售出的产品数量对其进行贴补。其实质是通过贴补刺激销售商提高订货量,调动其销售热情,从而提高系统性能^[13]。常用的减免折扣策略可分为两种:线性减免和目标减免。Terry 研究了报童模型下的减免折扣策略,证明目标减免折扣和线性减免折扣都可使供需链达到协调状态。线性减免折扣时,供应商的收益为负值;目标减免折扣时,供需链利润可由供需双方任意划分^[14]。

回购策略和减免折扣策略均将销售量作为合同参数,将市场需求间接地向供需链上游传递,风险由供需链中的成员共同承担,从而优化系统性能。二者又各有其缺点:回购策略较为保守,即使销售商不努力工作,也有供应商回购作保障,不利于提高销售商的积极性;目标减免折扣策略是通过贴补来刺激销售商订货,但减免折扣策略的参数设计相对较为复杂。

4 供需链结构建模

供需链是一种复杂的网状结构,在一些行业甚至还会产生环。在供需合同策略研究中,为更好地体现问题本质,通常对供需链结构进行简化。最简单的供需链结构模型是单销售商单供应商的链状模型,目前多数文献均采用这种结构^[6-12]。其主要优点是可将问题构造为 Stackelberg 博弈,便于分析,能得到较好的解析结果^[15]。

在树状或网状结构中,如果考虑销售商或供应商间的影响,则相当于完全信息下的静态博弈。Bernstein 采用树状供需链模型,分析了多个销售商相互独立和竞争情况下供需链的性能,证明了销售商间有竞争时存在纳什均衡,且改进后的回购策略和批发合同策略都能使供需链达到协调^[16]。

供需链结构大多假设为固定不变的,但有时改变供需链结构与选择合同策略相结合,可以得到更好的效果。Vipul 针对单树状模型,改变供需链结构,在供应商与销售商之间加入一个风险中立的分销商,分销商与供应商仍使用柔性订货策略,而与销售商之间使用新的合同形式,这样即使面对多个异构的销售商,也可选择适当的合同参数,使供需链达到协调状态^[17]。

5 市场需求建模

市场需求的建模主要是针对潜在需求不确定性而进行的。潜在需求不确定性是指要求供需链满足的需求存在的不确定性,产品需求客观的不确定性和供需链必须提供的服务水平共同决定了潜在需求的不确定性^[5]。潜在需求不确定性低的产品,如汽油等纯功能性产品,通常将市场需求简化为确定的;潜在需求不确定性高的产品,如新推出的产品,可认为其需求为随机的,且各销售周期中需求间的相关系数近似为 0。对于大多数产品,应该介于二者之间。

市场需求模型可能发生变化,其建模方法有以下几种: Iyer 在研究快速反应时运用贝叶斯分析法来描述市场需求精确性的变化^[18]; Lovejoy 运用时间序列来建立需求预测模型^[19]; Sethi 运用预测更

新来描述需求信息对市场的影响^[20]。

企业行为有时会影响市场需求, Terry 研究了销售商促销对市场的影响, 证明将目标减免折扣与回购策略相结合可使供需链协调^[14]。Corbett 讨论供需双方均可通过努力节省材料的情况, 设计了一种合同策略, 虽然不能使供需链达到协调, 但系统的性能可得以提高^[21]。

6 采购与供应过程建模

建立采购与供应过程模型, 当产品的需求预测难度较大, 采购提前期较长时, 可假设销售商只能进行一次采购, 如报童模型。如果产品的采购提前期较短, 则可结合市场需求建模, 假设销售商具有两次甚至多次采购机会, 如经济订货数量模型。实际中, 供应商一般会对采购作出一定的限制, 这种模型大多对应于最小采购数量或数量柔性合同策略。

Buzacott 讨论销售商具有两次采购机会, 分析了在最小采购数量策略下, 风险规避型销售商的最优采购策略, 以及各种参数对其最优采购策略的影响^[22]。Moinzadeh 针对销售商多次采购的模型, 改进了最小订货数量策略, 将需求简化为布朗运动, 得到了近似最优策略, 并提出一种计算简便的启发式算法, 通过仿真验证两种近似都能达到较好的效果^[23]。Anupindi 对销售商多次采购多种产品的情况进行分析, 发现对多周期多产品的动态规划问题求解难度很大, 所以先给出单一产品的最优解, 再根据这一结果推测出多产品情况下采购成本的下限, 通过仿真计算验证了计算值与实际最优值的误差很小^[24]。

7 信息建模

在完全信息假设下, 供需链中各个实体掌握整个供需链的所有信息, 了解合同策略下其他实体如何决策。在不完全信息假设下, 决策者只能根据某些现象对未知信息进行猜测和估计。这类问题常构成信息甄别、信息传递或委托代理模型来解决, 所用方法与最优控制非常相似。

Corbett 分析了供需链中的信息甄别模型, 利用显示原理进行机制设计^[25], 在假设分销商库存成本为私有信息的情况下, 运用最优控制理论得出了最优数量折扣的结果, 并与对称信息下的模型进行比较。黄小原等研究了不对称信息下供需链生产策略问题, 将供应商作为委托人, 销售商作为代理人, 将供应商最低利润的个人理性约束转化为二次型函数, 以销售商利润对于库存存储成本参数的一阶条件作为状态方程, 运用极大值原理得到了非对称信

息条件下最优生产策略^[26], 并将模型的控制变量设定为商业折扣和广告费用^[27]。

8 问题与展望

供需合同问题的研究已取得了一定的成果, 但它在供需链管理中所发挥的作用还远远不够。根据前面的讨论, 今后可能的研究方向将集中在以下几个方面:

1) 对于市场需求的不确定性, 大都认为是由外界环境引起的, 且固定不变。在实际中, 供需链中的实体有可能通过自己的行为对这种不确定性产生影响。比如通过广告、促销来扩大需求, 通过提高按订单生产的比例, 加强调研来减小需求的不确定性等。研究实体具有主动性时合同对于系统的影响, 这将成为今后的一个研究热点。

2) 一般使用随机理论来描述需求的不确定性, 通过历史数据、外界干扰等因素来预测不确定量的分布。随着产品的定制化要求越来越高, 生命周期越来越短, 能够用于预测的历史信息很少, 而更多的是经营管理人员、专家等根据经验作出的估计, 大都使用“最大不超过”、“最小不低于”、“大概是”等模糊的语义来表达, 这使得利用模糊理论描述不确定因素成为研究中的一个新方向^[28-31]。

3) 供需链中的不确定性体现在企业决策中就是风险。目前的研究大多假设企业是风险中立的, 即以其期望收益最大为目标, 而忽视了达到目标的可能性。今后的研究应重视决策者对待风险的态度对于决策结果的影响, 主要表现在不同风险偏好的决策者的最优决策问题, 通过研究合同对风险规避分布决策系统的性能以及对风险分配的影响, 提供性能更好、柔性更高的合同策略。

4) 单一的简单合同策略对于复杂问题很难达到理想的效果, 今后应注重对多种简单合同策略结合的研究以及对合同策略的创新。主要表现在: 以企业信息化与电子商务为基础的合同形式的创新, 以强大计算能力与信息管理能力为后盾的个性化供需关系的创新, 以及供需链协调机制的创新。

参考文献 (References):

- [1] 吴澄. 现代集成制造系统导论: 概念、方法、技术和应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [2] Sridhar Tayur, Ram Ganeshan, Michael Magazine. *Quantitative Models for Supply Chain Management* [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [3] Song Jing-sheng, Yao David D. *Supply Chain Structures: Coordination, Information and Optimization*

- [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002
- [4] 马士华, 林勇, 陈志祥. 供需链管理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000
- [5] Sunil Chopra, Peter Meindl. *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001.
- [6] Jeuland A P, Shugan S M. Managing channel profits [J]. *Marketing Science*, 1984, 30(2): 239-272
- [7] Weng Z K. Channel coordination and quantity discount [J]. *Management Science*, 1995, 41(9): 1509-1522
- [8] Bassok Y, Anupindi R. A analysis of supply contracts with total minimum commitment[J]. *IIE Trans*, 1997, 29(5): 373-381.
- [9] Tsay A, Lovejoy W S. Quantity flexibility contracts and supply chain performance[J]. *Manufacturing and Service Operations Management*, 1999, 1(2): 89-111.
- [10] Barnes S, Bassok D Y, Anupindi R. Coordination and flexibility in supply contracts with options[J]. *Manufacturing and Service Operations Management*, 2002, 4(3): 171-208
- [11] Li C, Kouvelis P. Flexible and risk-sharing supply contracts under price uncertainty [J]. *Management Science*, 1999, 45(10): 1378-1398
- [12] Pasternack B A. Optimal pricing and returns policies for perishable commodities [J]. *Marketing Science*, 1985, 31(4): 166-176
- [13] Bisby A. VARs stung by rebates[J]. *Computer Dealer News*, 1999, 11(6).
- [14] Taylor Terry. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects[J]. *Management Science*, 2002, 48(8): 992-1008
- [15] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1996
- [16] Bernstein F, Federgruen A. Decentralized supply chains with competing retailers under demand uncertainty[J]. *Management Science (Special Issue)*.
- [17] Vipul A, Sridhar S. Risk intermediation in supply chains[J]. *IIE Trans*, 2000, 32(9): 819-831
- [18] Iyer A, Bergen M E. Quick response in manufacturer-retailer channels [J]. *Management Science*, 1997, 43(4): 559-570
- [19] Lovejoy W S. Myopic policies for some inventory models with uncertain demand distributions [J]. *Management Science*, 1990, 36(6): 724-738
- [20] Sethi S P, Yan H, Zhang H. Peeling layers of an onion: Inventory model with multiple delivery modes and forecast updates [J]. *J of Optimization Theory and Applications*, 2001, 108(2): 253-281.
- [21] Charles J, Corbett G, DeCroix A. Shared-savings contracts for indirect materials in supply chains: Channel profits and environmental impacts [J]. *Management Science*, 2001, 47(7): 881-893
- [22] Buzacott J, Houmin Yan, Hanqin Zhang. Risk analysis of take-or-pay contracts with forecast updates [R]. 2002
- [23] Moinzadeh K, Nahmias S. Adjustment strategies for a fixed delivery contract [J]. *Operations Research*, 2000, 48(3): 408-423
- [24] Anupindi R, Bassok Y. Approximations for multi-product contracts with stochastic demands and business volume discounts: Single supplier case [J]. *IIE Trans*, 1998, 30(8): 723-734
- [25] Corbett C J, Croote X D. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information [J]. *Management Science*, 2000, 46(3): 444-450
- [26] 黄小原, 卢震. 非对称信息条件下供需链的生产策略 [J]. 中国管理科学, 2002, 10(2): 35-40
(Huang Xiaoyuan, Lu Zhen. Production strategy in supply chain under asymmetric information [J]. *Chinese J of Management Science*, 2002, 10(2): 35-40)
- [27] 黄小原, 卢震, 张哲. 供需链中委托代理模型及其促销策略 [J]. 东北大学学报, 2002, 123(1): 79-82
(Huang Xiaoyuan, Lu Zhen, Zhang Zhe. The principal-agent model of trade promotion strategies in supply chain [J]. *J of Northeastern University*, 2002, 123(1): 79-82)
- [28] Li L, Kabadi S N, Nair K P K. Fuzzy models for single-period inventory problem [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2002, 132(3): 273-289.
- [29] Kao C H, Hsu W K. Single-period inventory model with fuzzy demand [J]. *Computers and Mathematics with Applications*, 2002, 43(6-7): 841-848
- [30] Wu K, Yao J S. Fuzzy inventory with backorder for fuzzy order quantity and fuzzy shortage quantity [J]. *European J of Operational Research*, 2003, 150(2): 320-352
- [31] Lee H M, Yao J S. Economic order quantity in fuzzy sense for inventory without backorder model [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1999, 105(1): 13-31.