

# 基于技术创新的供应链网络均衡研究

胡引霞, 滕春贤

(哈尔滨理工大学 管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 21世纪的竞争不再是企业与企业之间的竞争, 而是供应链与供应链之间的竞争, 供应链若想在日益激烈的竞争中获胜, 就必须从产品款式或技术上连续不断地进行创新。分析了供应链网络中的交易过程和技术创新的价值, 建立了具有库存、随机需求和技术创新的供应链网络均衡模型, 并通过算例表明, 在供应链网络中进行技术创新可以使供应商和零售商的利润都得到提高, 以提高供应链的整体效用。

关键词: 供应链; 网络均衡; 技术创新; 变分不等式

中图分类号: F253.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2009)13-0020-03

## 0 引言

供应链网络是指由供应链中的多个制造商、供应商、零售商以及顾客所构成的网络。经济领域中第一个提出抽象网络或超网络的是Quesnay<sup>[1]</sup>, 他将经济领域中的资金流看成网络中的流。Nagurney<sup>[2]</sup>研究了经济领域中多种抽象的网络, 其中包括供应链网络和交通网络等。Nagurney 和dong<sup>[3]</sup>研究了多种经济背景下的超网络模型, 指出供应链网络均衡是供应链网络中的产品流、资金流、信息流等满足所有决策者的最优性条件的解, 这些最优性条件是用有限维不等式表示的。Dong和Zhang<sup>[4]</sup>描述了具有随机需求的供应链网络均衡模型并求出了均衡解。

钱莹<sup>[5]</sup>指出, 随着市场竞争的加剧和新技术的日新月异, 企业面临着越来越多的不确定性因素, 包括顾客对产品质量和交货期的要求等市场因素, 以及新产品开发、新市场扩展等企业经营目标方面的因素, 这些都大大增加了企业管理的复杂性。张千帆<sup>[6]</sup>研究了基于博弈论的供应链中技术创新激励机制, 指出企业为保持自己的竞争优势, 防止竞争对手进行仿冒, 必需从产品款式或技术上连续不断地进行创新。本文旨在结合供应链网络均衡的特点和技术创新的原理, 来构建基于技术创新的供应链网络均衡模型, 以增强供应链网络通过创新型产品占据市场的能力, 使之在供应链与供应链竞争中获胜。

## 1 具有技术创新的供应链网络均衡模型的建立

这里引入在零售商具有随机需求和技术创新的供应

链网络均衡模型。模型中的决策者为制造商和零售商, 顾客从零售商处购买的产品数量是随机的。本文中供应链的网络结构如图1所示。假设供应链网络中有 $m$ 个制造商生产同质、单一的产品, 并将这些产品批发给 $n$ 个零售商, 这些零售商再将产品销售给具有随机需求的顾客。图1中描述的供应链有两层构成, 顶层为制造商, 底层为零售商, 他们之间的链表示双方交易的产品流。

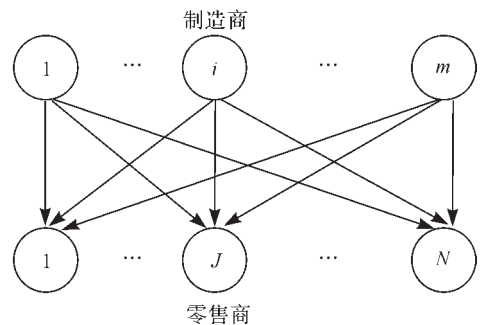


图1 供应链的网络结构

在单个销售季开始之前, 零售商必须选择制造商和订购量。令 $D_j \geq 0$ 表示零售商 $j$ 面临的需求, 令 $F_j$ 为零售商 $j$ 面临的需求分布函数,  $f_j$ 为相应的密度函数。对每一个零售商 $j$  ( $j=1, \dots, n$ ),  $F_j$ 是可微的严格递增函数,  $F_j(0)=0, \bar{F}_j(x)=1-F_j(x)$ , 且均值 $\mu_j=E[D_j]$ 。零售商 $j$ 处的零售价为 $p_j$ , 制造商 $i$ 与零售商 $j$ 的交易量用 $q_{ij}$ 表示, 批发价用 $w_{ij}$ 表示,  $c_{ij}^s(q_{ij})$ 表示制造商 $i$  ( $i=1, \dots, m$ )与零售商 $j$ 进行交易发生的由制造商 $i$ 来承担的所有成本, 包括生产成本、运输成本、装卸成本等。同样,  $c_{ij}^r(q_{ij})$ 表示由零售商 $j$ 发生的总成本, 包括采购成本、销售成本、陈列

收稿日期: 2008-03-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(70471067); 黑龙江省海外学人合作项目(1055HZ029)

作者简介: 胡引霞(1982-), 女, 河北邯郸人, 哈尔滨理工大学管理学院博士研究生, 研究方向为供应链建模; 滕春贤(1947-), 男, 山东莱州人, 哈尔滨理工大学管理学院教授、博士生导师, 研究方向为系统分析优化、决策理论与方法、供应链管理。

成本等。这两个成本都是交易量的递增函数, 这样, 由制造商  $i$  处的流量守恒得到制造商  $i$  处的生产量:

$$q_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad (1)$$

零售商  $j$  处所订购的产品总量为:

$$q_j = \sum_{i=1}^m q_{ij} \quad (2)$$

令  $S_j(q_j)$  为零售商  $j$  的期望销售量, 那么则有:

$$\begin{aligned} S_j(q_j) &= E[\min(q_j, D_j)] = q_j[1 - F_j(q_j)] + \int_0^{q_j} y f_j(y) dy \\ &= q_j - \int_0^{q_j} F_j(y) dy \end{aligned} \quad (3)$$

令  $I_j(q_j)$  表示在零售商  $j$  处供过于求时, 未销售完的期望剩余存货, 这些剩余产品在销售季末将以单位  $v$  的价格被处理掉, 则有:

$$I_j(q_j) = (q_j - D_j)^+ = q_j - S_j(q_j) \quad (4)$$

其中,  $(\cdot)^+$  表示表达式的非负部分。

定义  $L_j(q_j)$  表示零售商  $j$  处供不应求时的缺货量, 这对零售商和整个行业造成损失。用  $g_j^r$  表示零售商  $j$  处的单位缺货对零售商  $j$  造成的商誉损失成本,  $g_j^s$  表示零售商  $j$  处的单位缺货对所有制造商造成的商誉损失成本, 则有:

$$L_j(q_j) = (D_j - q_j)^+ = \mu_j - S_j(q_j) \quad (5)$$

零售商可通过技术创新来降低单位商品成本, 设  $r$  为零售商通过技术创新所能降低的单位商品的成本的最大幅度, 用  $\theta_r$  表示零售商通过对  $(i, j)$  链上进行技术创新所降低的单位商品成本, 其中  $0 \leq \theta_i \leq 1$ 。技术创新需要零售商进行大额投资, 设投资额为  $0.5C\theta_j^2$ ,  $C$  为一个较大的正常量, 这表明零售商通过投资  $0.5C\theta_j^2$  进行技术创新可以降低单位商品成本  $\theta_j r$ 。这里假定所有的制造商和零售商都是风险中性的<sup>[7]</sup>。

### 1.1 零售商的最优性条件

由上所述, 零售商  $j$  的利润  $\Pi_j^r$  等于其收益减去相应的成本, 其表达式为:

$$\begin{aligned} \max \Pi_j^r &= P_j S_j(q_j) + v I_j(q_j) - g_j^r L_j(q_j) - \sum_{i=1}^m c_{ij}^r(q_{ij}) - \sum_{i=1}^m w_{ij} q_{ij} \\ &+ \theta_j r S_j(q_j) - 0.5C\theta_j^2 \end{aligned} \quad (6)$$

将式(6)化简为:

$$\begin{aligned} \max \Pi_j^r &= v_j q_j - g_j^r \mu_j + (P_j - v_j + g_j^r + \theta_j r) S_j(q_j) - \sum_{i=1}^m c_{ij}^r(q_{ij}) - \sum_{i=1}^m w_{ij} q_{ij} \\ &- 0.5C\theta_j^2 \end{aligned} \quad (7)$$

假设成本函数连续且显凸性, 零售商之间以非合作的形式竞争, 在给定其它竞争者的最优性决策时, 零售商选择自己的订购量。这样, 在  $Nash$  非合作博弈情况下, 所有零

售商同时实现最优性的条件可以用下面的变分不等式来刻画:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ (-P_j + v_j - g_j^r - \theta_j r) \bar{F}_j(q_j^*) + \frac{\partial c_{ij}^r(q_{ij}^*)}{\partial q_{ij}} - v_j + w_{ij} \right] \times [q_{ij} - q_{ij}^*] \\ + \sum_{j=1}^n [-S_j(q_j^*) + C\theta_j^*] \times [\theta_j - \theta_j^*] \geq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

### 2.2 制造商的最优性条件

同理, 制造商  $i$  的利润  $\Pi_i^s$  最大化表达式为:

$$\max \Pi_i^s = \sum_{j=1}^n w_{ij} q_{ij} - \sum_{j=1}^m c_{ij}^s(q_{ij}) - \sum_{j=1}^n g_j^s L_j(q_j) \quad (9)$$

将式(9)化简为:

$$\max \Pi_i^s = \sum_{j=1}^n w_{ij} q_{ij} - \sum_{j=1}^m c_{ij}^s(q_{ij}) + \sum_{j=1}^n g_j^s S_j(q_j) - \sum_{j=1}^n g_j^s \mu_j \quad (10)$$

假设制造商的成本函数连续且是凸的, 制造商之间也存在非合作的竞争, 所有制造商同时实现最优性的条件可同时用下面的变分不等式来刻画:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{\partial c_{ij}^s(q_{ij}^*)}{\partial q_{ij}} - g_j^s \bar{F}_j(q_j^*) - w_{ij} \right] \times [q_{ij} - q_{ij}^*] \geq 0 \quad (11)$$

### 1.3 具有技术创新的供应链网络均衡模型

供应链均衡状态下, 必须满足所有制造商的最优性条件式(11), 和所有零售商的最优性条件式(8), 因此, 制造商向零售商的运送量等于零售商订购的量。而带有随机需求的供应链网络均衡, 是指两层决策者之间的产品流都满足最优性条件式(11)和式(8)。将式(11)和式(8)合并、化简, 得到:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ (v_j - P_j - g_j^r - g_j^s - \theta_j r) \bar{F}_j(q_j^*) + \frac{\partial c_{ij}^r(q_{ij}^*)}{\partial q_{ij}} + \frac{\partial c_{ij}^s(q_{ij}^*)}{\partial q_{ij}} - v_j \right] \\ \times [q_{ij} - q_{ij}^*] + \sum_{j=1}^n [-S_j(q_j^*) + C\theta_j^*] \times [\theta_j - \theta_j^*] \geq 0 \end{aligned} \quad (12)$$

均衡的批发价  $w_{ij}^*$  由变分不等式和互补问题的等价性<sup>[8]</sup>可得。如果均衡的定购量  $q_{ij}^* > 0$ , 则制造商的均衡批发价

$w_{ij}^* = \frac{\partial c_{ij}^s(q_{ij}^*)}{\partial q_{ij}} - g_j^s \bar{F}_j(q_j^*)$ , 与此等价的零售商的可接受均衡的批

发价  $w_{ij}^* = (p_j - v_j + g_j^r + \theta_j r) \bar{F}_j(q_j^*) - \frac{\partial c_{ij}^r(q_{ij}^*)}{\partial q_{ij}} + v_j$ 。显然, 制造商与

零售商之间交易的均衡批发价是模型的外生变量。

为了说明引入技术创新后, 供应商和零售商的利润都得到了改善, 我们构造了下面的算例。

## 2 数值算例

假设供应链网络中有两个制造商和两个零售商, (如图2)。设每个时期零售商所面临的需求都服从  $[0, 10]$  区间的均匀分布, 其密度函数及其对应的需求的分布函数为

$$f_j(x) = \begin{cases} 0 & \text{otherwise} \\ \frac{1}{10} & x \in [0, 10] \end{cases} \quad j=1,2$$

$$F_j(x) = \begin{cases} 1 & 10 < x \\ \frac{x}{10} & 0 < x \leq 10 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad j=1,2$$

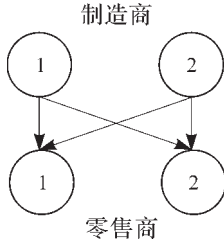


图2 算例示意

零售商的零售价 $p_1=p_2=100$ ,处理剩余存货的价格 $v_1=v_2=20$ ,制造商与零售商的商誉成本 $g_1^r=g_2^r=g_1^s=g_2^s=10$ 。

发生在制造商和零售商的成本函数分别为:

$$c_{ij}^s(q_{ij})=2q_{ij}^2+2q_{ij}-10$$

$$c_{ij}^r(q_{ij})=2q_{ij}^2+4q_{ij}-4$$

在没有引入技术创新时,即当 $\theta_j=0$ 时,用离散时间算法求解变分不等式(12),收敛标准为两次迭代的差的绝对值不大于 $10^{-4}$ ,其中的参数 $a=\frac{1}{t}$ ,初值为 $q_{ij}=0, i=1,2, j=1,2$ 。用Matlab编程求解,可得当市场达到均衡时, $q_{ij}^*=4.75, w_{ij}^*=11, i=1,2; j=1,2$ 。此时零售商的利润为 $\Pi_1^r=\Pi_2^r=406.3995$ ;供应商的利润为 $\Pi_1^s=\Pi_2^s=60.1250$ 。

当引入技术创新后,我们用同样的算法编程计算可得,均衡的技术创新程度、交易量和批发价分别是: $\theta_1^*=\theta_2^*=0.7020, q_{ij}^*=4.7571, w_{ij}^*=11.0284, i=1,2; j=1,2$ 。此时零售商的利润为 $\Pi_1^r=\Pi_2^r=502.5310$ ;供应商的利润为 $\Pi_1^s=\Pi_2^s=60.4020$ 。

比较引入技术创新前后供应商和零售商的利润,显然引入技术创新后,供应商和零售商的利润都有所改进。可见在供应链中进行技术创新,可以使供应链系统达到帕累托改进,有利于供应链在竞争中获胜。

### 3 结语

随着市场竞争的加剧,供应链为保持自己的竞争优势,防止竞争对手进行仿冒,必须从产品的款式或技术上连续不断地进行创新。本文研究了基于技术创新的供应链网络均衡模型,通过算例证明在供应链网络中引入技术创新后,供应商和零售商的利润都有所改进。然而在实际中,因为零售商都是有限理性的经纪人,而且多是规避风险的,因此他们可能认识不到技术创新的价值。这时可在供应链中引入一些技术创新的激励机制,以促进技术创新,提高整个供应链的利润。

#### 参考文献:

[1] QUESNAY, F. *Tableau Economique*, reproduced in facsimile with an introduction by H[M]. Higgs by the British Economic society, 1895.

[2] NAGURNEY, A. *Network Economics: A variational inequality Approach*, second and revised edition [M]. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1999.

[3] NAGURNEY, A, DONG, J. *Supernetwork* [M]. Edward Elgar Publishing, 2002.

[4] DONG, J, ZHANG, D, NAGURNEY, A. A Supply Chain Network Equilibrium Model with Random Demand [J]. *European Journal of Operations Research*, 2004, 166(1): 194-212.

[5] 钱莹. 敏捷供应链下的企业技术创新模式研究[J]. *科技进步与对策*, 2007, 24(8): 102-105.

[6] 张千帆, 方超龙, 胡丹丹. 基于博弈论的供应链中技术创新激励机制研究[J]. *商业研究*, 2007, 36(5): 41-44.

[7] 叶飞, 李怡娜, 胡晓灵. 不确定需求下技术创新的共享契约收益研究[J]. *科技管理研究*, 2005, (3): 81-83.

[8] HARKER, P, PANG, J. S. *Finite-dimensional variational inequality and nonlinear complementarity problem: a survey of theory, algorithms and applications* [J]. *Mathematical Programming*, 1990, 48: 161-220.

[9] NAGURNEY, A, ZHANG, D. *Projected Dynamical Systems and Variational Inequalities with Applications* [M]. Kluwer Academic Publishers, 1996.

(责任编辑:赵贤瑶)

## The study of Supply Chain Network Equilibrium Based on Technology Innovation

Hu Yinxia, Teng Chunxian

(School of Management Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

**Abstract:** In the 21st century, the competition between supply chains takes the place of the competition between enterprises. The supply chain who wants to win the competition must promote technology innovations of product. In this paper, we analyze the transaction process of supply chain network equilibrium and the value of technology innovation, and then we develop the supply chain network equilibrium model based on technology innovation. At last, the data simulation indicates that technology innovation can improve the profit of suppliers and retailers, namely the technology innovation can improve the profit of the whole supply chain network.

**Key Words:** Supply Chain; Network Equilibrium; Technology Innovation; Variational Inequality