# 供应驱动链中供应商主导的一种定价模型

王 超[1],蔡政英[2],肖人彬[2]
(1. 中国矿业大学(北京) 管理学院,北京 100083;2. 华中科技大学 系统工程研究所,武汉 430074)

**摘 要**:供应链的定价尤其是供应驱动链的定价是供应链管理中的难点之一。本文针对这一问题,首先分析了供应驱动链的运作特点和供应商角色,并将供应驱动链中的供应商与需求驱动链中的供应商进行了比较,分析了供应驱动链中供应商的驱动作用和用户需求对价格变化的敏感性,从利润与需求的主从博弈行为的角度描述供应商定价问题,建立了一种供应驱动链中供应商主导的定价模型,并通过均衡求解引导供应驱动链积极响应用户需求及实现总体利润最大化。

**关键词**:供应驱动链;需求驱动链;供应商;供应链定价;Stackelberg 博弈
**中图分类号**:F270 **文献标识码**:A **文章编号**:1002 - 980X(2009)08 - 0119 - 04

供应链定价是供应链管理的难点之一[1],原因在于供应链需求的不确定性[2]和节点企业利润分配的复杂性,通常表现为各种博弈行为[3]。实际运作中,不同的供应链协同策略对定价有着举足轻重的影响[4],不同的供应链需要不同的协同策略,同时定价也会反过来影响供应链的绩效及对用户需求的快速响应[5]。

目前,关于供应链运作的多数研究基于需求驱动供应链(demand-driven supply chain),即基于用户需求反馈驱动链(customer-driven supply chain)[6]或预测驱动供应链(forecast-driven supply chain)[7]。在石油业、采掘业、水和能源[8],渔业[9]等行业,尽管满足用户需求很重要,但供应的重要性往往超过了需求的重要性。目前关于供应驱动链(supply-driven chain)运作方面的研究不多,关于其定价的文献更为少见。

在定价模型中,一种很重要的模型是基于 Stackelberg 主从博弈的模型[10]。换言之,不同的供应链定价模型首先要确定供应链中的主从角色,才能实现合理的利润分配和价格策略。本文在此将供应驱动链的定价模型表达为一种以供应商为主的 Stackelberg 博弈模型,通过供应商的驱动行为实现整个供应链的协同定价和运作优化,以获取利润最大化。

## 1 供应驱动链

### 1.1 供应驱动链的特点

不同于需求驱动链,供应驱动链是通过对供应链各个环节的资源整合与优化来提高供应商与制造商之间、供应商与供应商之间的二维业务活动协调性,以满足需求方的快速、准时、可靠以及低成本要求为目标,使供应链达到协同运作的一种管理方式。一种包括 $m$ 个用户 $D_i(i = 1,2,\cdots,m)$,$n$ 个供应商 $S_j(j = 1,2,\cdots,n)$ 和 $p$ 个制造商 $M_k(k = 1,2,\cdots,p)$ 的供应驱动链模型如图 1 所示。

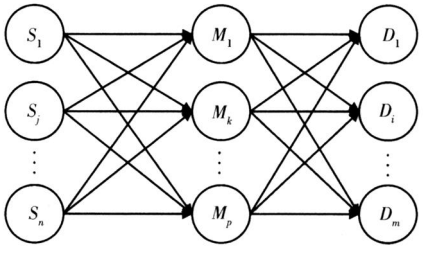


**图 1 供应驱动链模型示意图**

因此,供应驱动链有以下特点:①供应驱动链并不是摈弃需求,而是以主动满足最终需求客户 $D_i$ 为目的;②供应驱动的关键是供应方 $S_j$ 主动地与下游企业进行协同运作;③供应驱动最终仍然要满足需求方,但更加强调供应方 $S_j$ 在实际协同运作过程中的驱动作用。

### 1.2 不同驱动链中的供应商

1) 供应商的运作目标。在供应驱动链中,供应商 $S_j$ 运作首先考虑的是主动满足需求用户 $D_i$ 以提高整个供应链用户需求满足程度,从而提升供应链的整体利润,是利润主导型供应链运作。而在需求供

**收稿日期**:2009 - 06 - 23
**基金项目**:国家自然科学基金项目(60474077)资助
**作者简介**:王超(1974 —),男,安徽桐城人,中国矿业大学(北京)管理学院博士研究生,研究方向:科技与教育管理;蔡政英(1975 —),男,江西会昌人,华中科技大学博士,三峡大学高级工程师,研究方向:供应链管理;肖人彬(1965 —),男,湖北武汉人,华中科技大学系统工程研究所教授,博士生导师,研究方向:管理决策理论与决策支持系统、供应链管理与复杂产品开发管理。



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

应链中,供应商被动地满足制造商的订货要求,努力降低运作成本,间接满足用户需求,是成本主导型供应链运作。

2) 供应商的博弈。供应驱动链中,供应商 $S_j$ 必须主动满足需求用户 $D_i$,谋求合作利润的最大化,是博弈主方,制造商 $M_k$ 为博弈从方。而在需求驱动链博弈中,通常制造商为博弈主方,其将信息反馈到供应商,供应商为博弈从方,以满足制造商为主要任务。

3) 供应商的驱动作用。供应商 $S_j$ 可以是独立的原材料/零部件供应商,也可以是集配商、供应基或供应集群。供应驱动链中强势供应商(实力强的供应商)与制造商协同运作,其驱动作用是明显的;而弱势供应商(处于从属地位的供应商)通常间接发挥驱动作用来提高协调性。在需求驱动链中,供应商 $S_j$ 的驱动作用远不如制造商 $M_k$ 明显。

## 2 供应商的定价博弈

### 2.1 供应商的运作

我们对供应驱动链做如下假设:

①供应方能够及时得知用户需求信息;

②供应商可以及时得到所需原材料,不考虑缺货成本;

③来自于最终用户的时变产品需求在一个给定的时间间隔内给出;

④所有成员企业的能力均为已知;

⑤供应链上每一个成员的提前期确定,不考虑提前期风险影响。

假定 $t$ 为时间变量,供应商 $S_j$ 对用户 $D_i$ 的供应量为 $Q_{ij}(t)$,用户 $D_i$ 对供应商 $S_j$ 产品的需求量为 $D_{ij}(t)$,时变的产品单价为 $P_{ij}(t)$,每次订货成本为 $R_{ij}(t)$,库存维持成本为 $H_{ij}$,则供应商 $S_j$ 的运作成本 $C_j(t)$ 包括订货成本 $C_{j1}(t)$、库存维持成本 $C_{j2}(t)$ 和缺货成本 $C_{j3}(t)$,为:

$$C_j(t) = \sum_{i=1}^{m}\frac{R_{ij}(t)\times D_{ij}(t)}{Q_{ij}(t)} + \sum_{i=1}^{m}\frac{H_{ij}\times Q_{ij}(t)}{2} + \sum_{i=1}^{m}P_{ij}(t)\times[D_{ij}(t) - Q_{ij}(t)]\times\Phi[D_{ij}(t)]。 \quad (1)$$

假定时变的需求量可以用分布函数描述:

$$\Phi[D_{ij}(t)] = \int_{D_{ij}(t)}^{\infty}\frac{[x - D_{ij}(t)]}{\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)dx。 \quad (2)$$

则相应的供应商收益 $R_j(t)$ 可以表达为:

$$R_j(t) = \sum_{i=1}^{m}P_{ij}(t)\times D_{ij}(t)。 \quad (3)$$

单位时间库存量 $QIS_j(t)$ 存在最小库存约束 0 和最大库存约束 $\Psi IS_j$,即:

$$QIS_j(t) = QIS_j(t-1) + \sum_{i=1}^{m}Q_{ij}(t) - \sum_{i=1}^{m}D_{ij}(t); \quad (4)$$

$$0 \le QIS_j(t) \le \Psi IS_j。 \quad (5)$$

由此可知,供应商运作利润为:

$$PS_j = R_j - C_j。 \quad (6)$$

供应驱动链的供应商运作可以建立如下目标函数,即利润 $PS$ 最大化:

$$\text{obj}:\max(PS) = \max\left[\sum_{j=1}^{n}PS_j(t)\right]; \quad (7)$$

$$\text{s.t. } 0 \le \sum_{j=1}^{n}QIS_j(t) \le \sum_{j=1}^{n}\Psi IS_j(t)。 \quad (8)$$

### 2.2 固定需求下供应商定价

在固定需求条件下,价格对需求无影响,但供应商的运作成本会受到运作价格的影响。订货成本 $R_{ij}(t)$ 可以表达为产品价格 $P_{ij}(t)$ 的变化函数,即:

$$R_{ij}(t) = a_{ij}\times P_{ij}(t) + b_{ij}。 \quad (9)$$

式(9)中:$a_{ij}$ 表示订货成本随价格的变化比率,$a_{ij} > 0$;$b_j$ 为每次订货固定费用或调整准备费,$b_j > 0$。

对成本函数(1)求导,相应的经济订货批量也可以描述为价格的函数:

$$Q_{ij}^{*} = \sqrt{\frac{R_{ij}(t)D_{ij}(t)}{\frac{H_{ij}}{2} - P_{ij}(t)\Phi[D_{ij}(t)]}}。 \quad (10)$$

因此,经济订货批量 $Q_{ij}^{*}$ 为产品价格 $P_{ij}$ 的非线性函数。

年总库存维持成本通常可以描述为产品价格的百分比,即为 $P_{ij}$ 增函数:

$$H_{ij} = \lambda_{ij}\times P_{ij}(t)。 \quad (11)$$

式(11)中,$\lambda_{ij}$ 为库存成本占产品价格的比重,且 $1 > \lambda_{ij} > 0$。

根据式(9)~式(11),则可求得订货成本 $C_{j1}(t)$:

$$C_{j1}(t) = \sum_{i=1}^{m}\sqrt{\frac{\frac{\lambda_{ij}P_{ij}(t)}{2} - P_{ij}(t)\Phi[D_{ij}(t)]}{[a_{ij}P_{ij}(t) + b_{ij}]D_{ij}(t)}}。 \quad (12)$$

相应的库存成本 $C_{j2}(t)$ 为:

$$C_{j2}(t) = \sum_{i=1}^{m}\frac{\lambda_{ij}P_{ij}(t)}{2}\sqrt{\frac{[a_{ij}P_{ij}(t) + b_{ij}]D_{ij}(t)}{\frac{\lambda_{ij}P_{ij}(t)}{2} - P_{ij}(t)\Phi[D_{ij}(t)]}}。 \quad (13)$$

类似的,缺货成本 $C_{j3}(t)$ 为:

$$C_{j3}(t) = \sum_{i=1}^{m}P_{ij}(t)\times[D_{ij}(t) -$$



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\sqrt{\frac{[a_{ij}P_{ij}(t)+b_{ij}]D_{ij}(t)}{\frac{\lambda_{ij}P_{ij}(t)}{2}-P_{ij}(t)\Phi[D_{ij}(t)]}}]\times\Phi[D_{ij}(t)]。\quad(14)$$

因此,根据式(3)、式(12)～式(14),供应商运作的利润可以描述为产品价格的函数:

$$PS_j(t)=R_j(t)-C_{j1}(t)-C_{j2}(t)-C_{j3}(t)。\quad(15)$$

根据如上模型,如果需求 $D_{ij}(t)$ 是固定的,可推知价格 $P_{ij}(t)$ 与成本存在博弈行为,随着价格升高,收益 $R_j(t)$ 增大,然而成本 $C_{j1}(t)$、$C_{j2}(t)$、$C_{j3}(t)$ 也呈现出非线性变化,供应商运作的利润 $PS_j$ 存在极值点,成本和收益的价格敏感性曲线如图 2 所示。

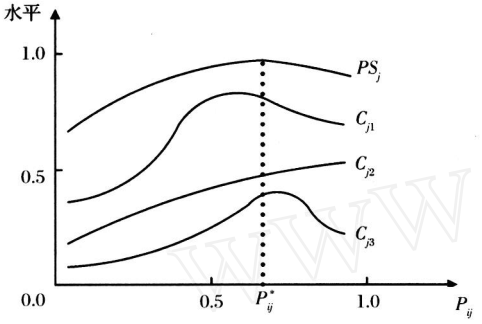


**图 2　成本和收益的价格敏感性曲线图**

从利润函数的构成可知在利润最大化时供应商的最优价格 $P_{ij}^*(t)$ 满足条件

$$\frac{dPS_j}{dP_{ij}}\Big|_{P_{ij}=P_{ij}^*}=0,\quad(16)$$

相应的供应商利润为

$$PS_j(P_{ij}^*)=\max[PS_j(P_{ij})\mid 0\le P_{ij}<\frac{H_{ij}}{2\Phi(D_{ij})}]。\quad(17)$$

### 2.3　用户需求的价格敏感性

目标函数式(17)为固定用户需求条件下供应驱动链运作目标函数,且式(3)、式(12)～式(14)中的用户需求 $D_{ij}(t)$ 为与价格 $P_{ij}(t)$ 无关的变量。实际上,供应驱动链中供应商的价格往往会影响用户的购买行为,如较高的价格限制用户需求、较低的价格扩大用户需求,即用户需求 $D_{ij}(t)$ 具有价格敏感性。

通常,用户需求可以表达为追求高品质和低价格的博弈行为,即"质美价廉"的采购博弈。其中,"质美"体现的是商品的品质,人们都自觉不自觉地倾向于高品质的商品,但其制造成本和价格也有提高的可能。设品质变量为 $\xi_{ij}(t)$,是与价格 $P_{ij}(t)$ 有关的变量。"价廉"体现的是商品的价格 $P_{ij}(t)$,即用户希望供应商的售价越低越好,较低价格的商品有助于增加用户需求。用户需求博弈目标可以表达为最佳性价比商品的用户需求最大化 $\eta_{ij}(t)$,即

$$\eta_{ij}(t)=\frac{\xi_{ij}(t)}{P_{ij}(t)}\times D_{ij}(t)。\quad(18)$$

对其求极值点,可知

$$\eta_{ij}^*=\frac{\xi_{ij}(P_{ij})}{P_{ij}}\times D_{ij}(P_{ij})\mid_{P_{ij}=P_{ij}^*}。\quad(19)$$

另外,博弈还受到用户购买力的约束,一个地区对某商品的购买力越强,需求量可能越大。另外,商品的价格越高,用户对其的购买力也越小。设 $D_{ij}(t)$ 的购买力变量为 $\zeta_{ij}(t)$,是与价格 $P_{ij}(t)$ 有关的变量。则目标函数为:

$$\text{obj}:\quad \max\{\eta_{ij}(t)\};\quad(20)$$

$$\text{s.t}:\quad D_{ij}(t)\le\zeta_{ij}(t)/P_{ij}(t)。\quad(21)$$

相应的用户需求的价格敏感性曲线如图 3 所示。

由图 3 可知,用户需求 $D_{ij}(t)$ 的目标函数 $\eta_{ij}(t)$ 最大时的价格 $P_{ij}^*$ 不一定发生在需求量最大值时。

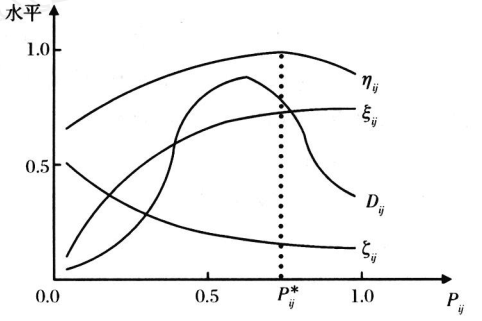


**图 3　需求的价格敏感性曲线图**

显然,在供应驱动中,供应商与用户需求之间存在价格博弈行为,可以描述为一个关于 $P_{ij}$ 的 Stackelberg 主从对策问题。其中,供应商 $S_j$ 作为供应驱动的主方,主动满足用户需求,以整个供应链利润最大化为目的,其策略 $A$ 是提出价格 $P_{ij}$ 和价格折扣 $N_{ij}$,从方是用户 $D_i$,根据主方策略确定其采购需求策略 $B$。假定价格 $P_{ij}$、折扣 $N_{ij}$ 和 $\eta_{ij}$ 分别表示主方供应商和从方用户的策略,即 $P_{ij}$、$N_{ij}\in A$,$\eta_{ij}\in B$。

通常,供应商与用户之间并无直接隶属关系,只有当供应商的价格折扣足以弥补用户的性价比增加时,用户才有可能接受供应商的策略。因此,其价格折扣至少应满足以下条件:

$$N_{ij}=\frac{1}{\xi_{ij}D_{ij}}[\frac{\xi_{ij}(t)}{P_{ij}(t)}\times D_{ij}(t)-\eta_{ij}^*(t)]。\quad(22)$$

因此,供应商的成本还应包括价格折扣,即:

$$CS_j(t)=C_{j1}(t)+C_{j2}(t)+C_{j3}(t)+N_{ij}。\quad(23)$$

## 3　定价模型的均衡解

供应商与用户的博弈模型求解可以表达为:

$$\max(PS_j)=\max(R_j-C_{j1}-C_{j2}-C_{j3}-N_{ij});$$



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(24)

$$\max(\eta_{ij}) = \max[\frac{\xi_{ij}}{P_{ij}} \times D_{ij}]; \quad (25)$$

$$\max(N_{ij}) = \max[\frac{1}{\xi_{ij} D_{ij}} (\frac{\xi_{ij}}{P_{ij}} \times D_{ij} - \eta_j^*)]。(26)$$

因此,供应驱动下,供应商与用户之间的主从博弈模型可以转化为求策略集的 Stackelberg 均衡解过程,假定 A 和 B 是非空凸集,构成非线性凸空间,此问题不存在在线求解算法,可以建立优化目标函数,采用离线算法求解。

在供应驱动机制下,供应商主动满足用户需求,追求的是利润最大化,则博弈行为可以表达为式(24)～式(26)总和为目标函数,即:

$$\text{obj}:\Omega = \max\{\sum_{j=1}^{n}[x \cdot PS_j + \sum_{i=1}^{m}(y \cdot \eta_{ij} + z \cdot N_{ij})]\}。 \quad (27)$$

式(27)中,$x$、$y$、$z$ 为加权系数。约束条件为式(8)、式(21)。该目标函数和约束条件共同组成一个非线性规划问题。在此,将价格折扣定义为约束范围内的变量目标集,从而将供应链利润优化问题转化为多目标极值求解。

与此相反,在需求驱动链中,供应商和用户的博弈通常考虑各自成本的最小化为目标,即:

$$\min(CS_j) = \min(C_{j1} + C_{j2} + C_{j3} + N_{ij}); \quad (28)$$

$$\min(P_{ij}) = \min[\frac{1}{\xi_{ij} D_{ij}} (\eta_j^* - \frac{\xi_{ij}}{P_{ij}} \times D_{ij})]。 \quad (29)$$

可以采用式(28)和式(29)之和最小作为目标函数来求出所对应的均衡解,其相应的约束条件同式(8)、式(21)。这与供应驱动链的定价模型有明显不同。

## 4 结束语

供应驱动链的定价首先要解决博弈行为的主体问题。在供应驱动链中以供应商为主进行利润协同和定价博弈,可以满足石油、采掘业等行业的供应驱动链运作需要。通过建立供应商主导的定价模型和均衡求解,可以引导供应驱动链积极响应用户需求并实现总利润的最大化。本文为供应链定价提供了一种有效的解决手段,对供应驱动链主从博弈行为也进行了有益的探讨。

## 参考文献


[1] VOETH M, HERBST U. Supply-chain pricing —A new perspective on pricing in industrial markets[J]. Industrial Marketing Management, 2006, 35(1): 83-90.

[2] WANG Y Z. Joint pricing-production decisions in supply chains of complementary products with uncertain demand [J]. Operations Research, 2006, 54(6): 1110-1127.

[3] 王利,韩玉启,陆继,等. 基于经济博弈的供应链利润分配机制研究[J]. 技术经济, 2006, 25(9): 1-5.

[4] NAIR A, CLOSS D J. An examination of the impact of co-ordinating supply chain policies and price markdowns on short lifecycle product retail performance[J]. International Journal of Production Economics, 2006, 102(2): 379-392.

[5] CACHON G P, SWINNEY R. Purchasing, pricing, and quick response in the presence of strategic consumers[J]. Management Science, 2009, 55(3): 497-511.

[6] CHIZZO S A. Supply chain strategies: solutions for the customer-driven enterprise[J]. Software Magazine, 1998 (1): 4-10.

[7] AYERS J. Demand-driven supply chain implementation [J]. Chemical Engineering Progress, 2006, 102(12): 21-23.

[8] PAULSEN K, HENSEL F. Design of an autarkic water and energy supply driven by renewable energy using commercially available components [J]. Desalination, 2007, 203(1-3): 455-462.

[9] HULL B Z Are supply (driven) chains forgotten? [J]. The International Journal of Logistics Management, 2005, 16(2): 218-236.

[10] VAN HOESEL S. An overview of Stackelberg pricing in networks[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 189(3): 1393-1402.


## A Supplier-mastered Pricing Model of Supply-driven Chain


Wang Chao[1], Cai Zhengying[2], Xiao Renbin[2]

(1. School of Management, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China;
2. Institute of Systems Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)



**Abstract:** Supply chain pricing, especially supply-driven chain pricing, is one of puzzling problems in supply chain management. Operational characteristics of supply-driven chain are analyzed in this paper, and suppliers in supply-driven chain are compared with those in demand-driven chain. Then, the operation of suppliers and price sensitivity of customer for demands are discussed, and the pricing problem is described as a supplier-mastered game model, of which the equilibrium solutions can induce supply-driven chain to meet customers' demands for optimal profits.



**Key words:** supply-driven chain; demand-driven chain; supply chain pricing; Stackelberg game




© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net