

文章编号: 1006-5911(2002)06-0438-04

# 基于协商的上下游供需合作计划模型研究

朱宝琳, 于海斌

(中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016)

**摘要:** 基于供需链上下游计划模型, 通过计划共享, 给出了上下游供需合作计划模型。根据价格、库存等外界因素, 确定了企业与战略伙伴的合作关系, 并通过协商对策的方法, 最终使上下游企业达到“双赢”的目标。在数值实验中, 讨论了“双赢”实现的条件及可行性。

**关键词:** 供需链; 上下游; 合作伙伴; 生产计划; 协商对策

**中图分类号:** TP14      **文献标识码:** A

随着信息技术(IT)的飞速发展, 以及用户对产品多样性等的需求, “纵向一体化”管理模式已不适应市场的需要, 企业开始向“横向一体化”模式转化, 供需链管理思想由此应运而生。供需链管理是一种基于企业供需链的先进管理模式<sup>[1,2]</sup>, 企业可通过供需链管理在市场获得一定的竞争优势。

作为全新的管理思想和组织模式, 供需链管理更注重战略伙伴关系。在供需链中, 合作企业之间是一种合作式的供需关系<sup>[3]</sup>, 它除了要求企业集中巩固和发展自己的核心能力和业务以外, 还特别强调企业将自身的业务与合作伙伴集成在一起。供需链管理的目的是使供需双方在一定时期内共担风险、共同获利, 最终达到“双赢”的目标<sup>[4]</sup>。

本文从确定上下游企业的最优生产计划入手, 建立了上下游企业的供需合作计划模型, 通过协商对策的方法, 确定上下游之间的交易量, 以及它们分别与市场的交易量, 从而使上下游利润都达到最大。

## 1 问题的描述

上下游关系在供需链管理中很典型。从物流和供需链的角度来看, 上游工厂相对于下游工厂是供应商, 下游工厂则是上游工厂的主要买方, 二者关联

紧密。如果是在一个企业集团内部, 上下游则体现了一种主要合作伙伴关系。但是, 过分地依赖某一个合作伙伴, 可能将在合作伙伴不能满足其期望要求时造成惨重损失。同时, 企业可能因为对战略合作关系的失控, 过于自信或合作伙伴的过于专业化等原因导致竞争力下降。目前, 企业直接面向市场, 为了适应外界环境的变化, 须按照市场需求结合自身能力, 灵活地调整其经营方针、计划。因此, 一个处于供需链中的企业在做计划时, 既要保证企业自身利益, 又要兼顾共同的经济利益。

从图1可见, 上游工厂向下游工厂提供产品的同时, 也向市场提供产品, 存在多种选择。下游工厂在采购过程中也存在同样的问题, 双方有多种策略可供挑选。企业如何既考虑盟友利益, 又顾及市场因素, 最终获取最大利润, 已成为企业管理者所面临的迫切任务之一。

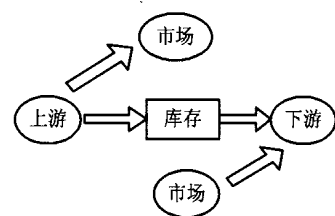


图1 基于市场的上下游供需关系

收稿日期: 2001-08-08; 修订日期: 2001-11-14。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69974039)。

作者简介: 朱宝琳(1972-), 男, 辽宁海城人, 中科院沈阳自动化研究所博士研究生, 主要从事生产计划、调度及优化算法研究。

E-mail: zbl@ms.sia.ac.cn

协商对策是 Nash 在 50 年代提出的一类非零和合作对策。在现代企业经营战略决策中,协商对策已成为研究经营决策问题的最有利的工具之一。本文将协商对策的思想<sup>[5,6]</sup>应用于上下游的供需合作计划问题,上下游企业可根据各自计划模型进行合作协商,最终达到“双赢”的目标。

## 2 上下游供需合作计划模型

伙伴选择的原则包括价格、库存、服务、技术和质量等,其中价格与库存因素具有代表性,价格是企业获得利润的关键因素,对市场变化较为敏感,而中间库存在上下游间具有很大的协调作用,通过价格和中间库存可以将上下游计划有机地结合起来。以下所建立的供需合作计划模型,考虑到多种资源及上、下游之间库存等约束,并综合了上下游各自的计划模型。

### 2.1 上游计划模型

综上所述,对于上游工厂,以  $x_u(t)$ ,  $y_u(t)$  为决策变量的优化模型描述如下:

$$\max \sum_{t=1}^T \{ (a_u - b_u - c_u) x_u(t) + (d_u^{\text{mark}}(t) - b_u - c_u) y_u(t) - hI_u(t) \} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } I_u(t) \leq W \quad (t = 1, 2, \dots, T) \quad (2)$$

$$r_{ui}(x_u(t) + y_u(t)) \leq R_{ui}(t) \quad (t = 1, 2, \dots, T, i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$\mathcal{E}_u^1 \leq x_u(t) - \hat{x}_d(t) \leq \mathcal{E}_u^2 \quad (4)$$

$$x_u(t) \geq 0, y_u(t) \geq 0 \quad (5)$$

在上述模型中

$$I_u(t) = \sum_{\tau=1}^t [x_u(\tau) - \hat{x}_d(\tau)] + I(0) \quad (6)$$

式中:  $x_u(t)$  ——上游工厂对下游工厂的供应量;

$\hat{x}_d(t)$  ——上游工厂对下游工厂供应量的预估值;

$y_u(t)$  ——上游工厂销往市场的产品量;

$\hat{y}_u(t)$  ——上游工厂销往市场的产品量的预估值;

$a_u$  ——上游工厂与下游工厂的交易价格;

$a_u^{\text{mark}}$  —— $t$  时刻上游工厂销售到市场的价格;

$\mathcal{E}_u^1, \mathcal{E}_u^2$  ——上游与下游交易量的允许范围;

$b_u, c_u, h$  ——上游的单位成本、单位纳税值、单位库存费用;

$I(0)$  ——中间库存初始值;

$W$  ——中间库存的最大容量。

目标函数(1)表示要从利润的角度进行优化,上游利润表示为上游销售到下游和市场,去除成本、纳税及库存费用;约束(2)表示上游库存限制;约束(3)表示资源限制(如原材料、能源等);约束(4)表示上下游间交易量限制,它体现了一种长期合作伙伴关系;式(6)为上游中间库存表达式。

### 2.2 下游计划模型

对于下游工厂,以  $x_d(t)$ ,  $y_d(t)$  为决策变量的下游优化模型描述如下:

$$\max \sum_{t=1}^T \{ (a_d - b_d - c_d) a(x_d(t) + y_d(t)) - a_u x_d(t) - d_d^{\text{mark}}(t) y_d(t) - hI_d(t) \} \quad (7)$$

$$\text{s. t. } I_d(t) \leq W \quad (t = 1, 2, \dots, T) \quad (8)$$

$$r_{di}(x_d(t) + y_d(t)) \leq R_{di}(t) \quad (t = 1, 2, \dots, T, i = 1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

$$\mathcal{E}_d^1 \leq \hat{x}_u(t) - x_d(t) \leq \mathcal{E}_d^2 \quad (10)$$

$$x_d(t) \geq 0, y_d(t) \geq 0 \quad (11)$$

在上述模型中

$$I_d(t) = \sum_{\tau=1}^t [x_u(\tau) - x_d(\tau)] + I(0) \quad (12)$$

式中:  $x_d(t)$  ——下游工厂对上游工厂的产品需求量;

$\hat{x}_u(t)$  ——下游工厂对上游工厂需求量的预估值;

$y_d(t)$  ——下游工厂从市场采购的产品量;

$\hat{y}_d(t)$  ——下游工厂从市场采购产品量的预估值;

$a_d$  —— $t$  时刻下游工厂产品的市场价;

$\mathcal{E}_d^1, \mathcal{E}_d^2$  ——下游工厂与上游工厂交易量的允许范围;

$a_d^{\text{mark}}(t)$  —— $t$  时刻下游工厂从市场采购的价格;

$a, b_d, c_d$  ——成材率、单位成本、单位纳税值。

目标函数(7)表示从利润的角度进行优化,下游工厂利润表示将从上游工厂和市场购得的原料加工成最终产品,并去除成本、税务及库存费用;约束(8)表示下游工厂库存限制;约束(9)表示资源限制;约束(10)与约束(4)相似;式(12)为下游工厂中间库存表达式。

### 2.3 供需合作计划模型

通过价格和中间库存等手段,上游工厂和下游工厂计划模型被有机地结合在一起。在此基础上,本文提出了一种供需合作计划模型。在模型中,上游工厂通过上游计划模型,计算出向下游工厂的产品供应量  $x_u(t)$  和销往市场的产品量  $y_u(t)$ , 并将

此结果作为预估值传送到下游工厂。下游工厂根据此预估值和自身的价格函数,通过下游计划模型,计算出对上游工厂的产品需求量  $x_d(t)$  和从市场采购的产品量  $y_d(t)$ ,并将此结果作为预估值传送到上游工厂(见图2)。双方根据各自的计算结果,与计划预估值相比较,当结果相同时,则达到各自目标。如不同,须将这两个模型进行反复迭代,直到双方都达到利润最大。

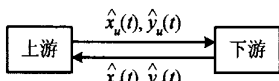


图2 基于协商对策的上下游供需合作计划模型

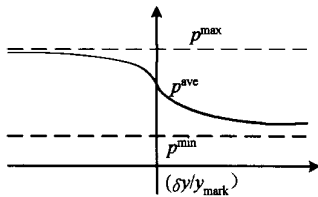


图3 市场价格  $a(t)$

当下述条件满足,迭代停止(协商结束):

$$\begin{cases} x_u(t+1) = \hat{x}_u(t) \\ x_d(t+1) = \hat{x}_d(t) \end{cases} \quad (13)$$

上下游价格采用反正切函数表示,价格曲线(见图3)及数学表达式如下:

$$a^{\text{mark}}(t) = -k \times \arctg(\delta y / y_{\text{mark}}) + p^{\text{ave}} \quad (14)$$

价格函数中的参数可表示为:  $k = 2 \times (p^{\text{max}} - p^{\text{min}}) / \pi$ ,  $p^{\text{ave}} = (p^{\text{max}} + p^{\text{min}}) / 2$

式中:  $p^{\text{max}}$  ——上游工厂销售到市场或下游工厂从市场采购的最高价格;

$p^{\text{min}}$  ——上游工厂销售到市场或下游工厂从市场采购的最低价格;

$p^{\text{ave}}$  ——上游工厂销售到市场或下游工厂从市场采购的平均价格;

$y_{\text{mark}}$  ——该产品的市场总量;

$\delta y$  ——上游(或下游)计划值与下游(或上游)预估值的偏差值。

$\delta y_u$  对于上下游可分别表示为:  $\delta y_u = y_u(t) - \hat{y}_d(t)$ ,  $\delta y_d = \hat{y}_u(t) - y_d(t)$ 。

### 2.4 求解算法

无论上游计划模型还是下游计划模型,都是含有线性约束的非线性规划问题,不能用简单的数学

规划方法求解,本文采用可行方向法,将复杂的非线性问题转化为线性规划问题,并采取一般线性规划算法求解。其步骤如下:

**步骤1** 取允许误差  $\epsilon > 0$ ,可行域顶点  $x^{(0)} \in R$  及对方提供的预估值  $\hat{x}(t)$ ,  $\hat{y}(t)$ ;

**步骤2** 如式(13)满足,则迭代停止,上下游计划模型分别获得最优解,否则,转向步骤3;

**步骤3** 求  $\min f(x^{(k)})^T x$  的最优解。其中,  $R = \{x | Ax \geq B, x \geq 0\}$ ,  $x^k \in R$ ;

**步骤4** 看是否满足停止准则,如果  $|f(x^{(k)})^T(x^{(k)} - x^{(k-1)})| \leq \epsilon$  满足,则迭代停止,得到点  $x^{(k)}$ ,转向步骤7。否则,转向步骤5;

**步骤5** 求一维搜索问题的最优解  $\lambda^{(k)}$ ,  $\min f(x^{(k)} + \lambda(x^{(k)} - x^{(k-1)})) \lambda \in [0, 1]$ ;

**步骤6** 令  $x^{(k+1)} = x^{(k)} + \lambda^{(k)}(x^{(k)} - x^{(k-1)})$ , 并令  $k = k + 1$ ,转向步骤7;

**步骤7** 将计算结果提供给对方,作为预估值  $\hat{y}(t)$ ,  $\hat{x}(t)$ ,重复步骤2,3,4,5,6。

## 3 应用实例及结果分析

### 3.1 应用实例

以钢铁企业中冷轧厂与热轧厂的季度计划为例。对于上游工厂,  $p_u^{\text{max}} = 2500$ ,  $p_u^{\text{min}} = 150$ ,  $p_u^{\text{ave}} = (2500 + 150) / 2 = 2000$ ,  $K_u = 2 \times (2500 + 150) / 3.14 = 2547$ 。对于下游工厂,  $p_d^{\text{max}} = 3500$ ,  $p_d^{\text{min}} = 2500$ ,  $p_d^{\text{ave}} = 3000$ ,  $k_d = 2 \times (3500 + 2500) / 3.14 = 3821$ 。资源数  $m = 3$ ,  $T = 3$ ,上下游间交易量的允许范围为  $\epsilon_u^1 = \epsilon_d^1 = 0$ ,  $\epsilon_u^2 = \epsilon_d^2 = 500$ 。利用上述求解算法进行仿真运算,其结果如表1~4所示。

表1 上游独自计划产量(单位:吨)及利润(单位:元)

| 序号 | 上游销往下游 | 上游销往市场 | 上游计划利润  |
|----|--------|--------|---------|
| 1  | 6000   | 4000   | 5000000 |
| 2  | 6200   | 3800   | 5100000 |
| 3  | 6100   | 3900   | 5150000 |

表2 下游独自计划产量(单位:吨)及利润(单位:元)

| 序号 | 下游来自上游 | 下游来自市场 | 下游计划利润  |
|----|--------|--------|---------|
| 1  | 5900   | 3100   | 3600000 |
| 2  | 6000   | 3000   | 3700000 |
| 3  | 5900   | 3100   | 3750000 |

表1和表2分别表示上下游各自计划所得的产量及利润,表3和表4分别表示协商后上下游计划产量及利润。协商次数为57。

**表3 协商后上游计划产量(单位:吨)  
及利润(单位:元)**

| 序号 | 上游销往下游 | 上游销往市场 | 上游计划利润  |
|----|--------|--------|---------|
| 1  | 6553   | 3447   | 5043500 |
| 2  | 6617   | 3383   | 5144370 |
| 3  | 6601   | 3399   | 5194805 |

**表4 协商后下游计划产量(单位:吨)  
及利润(单位:元)**

| 序号 | 下游来自上游 | 下游来自市场 | 下游计划利润  |
|----|--------|--------|---------|
| 1  | 6517   | 2483   | 3733560 |
| 2  | 6678   | 2322   | 3837270 |
| 3  | 6612   | 2388   | 3889125 |

### 3.2 结果分析

根据表1~表4结果可见,上下游之间的供需量趋于平衡,交易量有一定的增加,彼此间伙伴关系得到加强。上游工厂通过协商获取的利润略高于独自计划利润,下游工厂通过协商获取的利润高出独自计划利润的3.71%。可见,协商双方最终达成了一致意见,协商的结果对双方都较为有利。另外,在计算过程中发现,上下游间的交易价格和上下游与市场的交易价格差在一定范围内时,协商的结果收敛。当价格差超出此范围时,结果发散。由此可见,协商的结果在一定程度上依赖于上下游间交易价格与市场的交易价格的相互关系。

## 4 结束语

本文针对目前企业所面临的多种选择情况,基于供需链管理中的上下游合作伙伴关系,建立了一种供需合作计划模型,并在模型中考虑了市场价格、中间库存等因素,通过计划共享和协商的手段,确定了上下游彼此间及上下游与市场的计划交易量。最后,在数值实验中讨论了“双赢”的实现条件及可行性。

### 参考文献:

- [1] JIANG Xinsong, ZHANG Shensheng. The challenge and ponderation on agile competition[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 1996, 2(1): 3-9(in Chinese). [蒋新松,张申生.敏捷竞争中的挑战与思考[J]. 计算机集成制造系统-CIMS, 1996, 2(1): 3-9.]
- [2] ZHANG Shensheng, GAO Guojun. Virtual enterprise and agile supply Chain [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 1999, 5(2): 1-5(in Chinese). [张申生,高国军.动态联盟和敏捷供需链[J]. 计算机集成制造系统-CIMS, 1999, 5(2): 1-5.]
- [3] 王 玮,柴跃廷.有限资源能力下的供需问题研究[J]. 系统工程理论与实践, 2001, (2): 86-90.
- [4] 陈 安,刘 鲁,等.虚拟企业协作博弈中的双赢策略[J]. 系统工程理论与实践, 2000, (8): 12-17.
- [5] WANG Dingwei, FANG Shucheng. Soft computing for multicustomer due-date bargaining[J]. IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics, 1999, 29(4): 566-575.
- [6] Harri Ehtamo, Eero Koettunen. Searching for joint gains in multi-party negotiation[J]. European Journal of Operational Research 2001, 130: 54-69.

## Research on Up-Down Stream Collaboration Planning Model Based on Bargaining Game

ZH U Bao- lin, YU Hai- bin

(Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

**Abstract:** A collaboration planning model (CPM) for co-ordination of supply chain (SC) is established by the sharing of information, which is based on up-down stream planning models. The factors under internal as well as external situations (price, inventory etc.) are considered in the model. The relationship of cooperating partnership is determined, and the goal of win-win is obtained by the negotiation theory. The experiments using realistic data from enterprises have achieved satisfactory results.

**Key words:** supply chain; up-down stream; cooperating partnership; production planning; bargaining game