

# 基于 Supply-hub 的 2 个供应商单制造商 批量协调问题研究

桂华明<sup>1</sup> 马士华<sup>2</sup> 关旭<sup>2</sup> 张林兰<sup>1</sup>

(1. 湖北大学商学院; 2. 华中科技大学管理学院)

**摘要:** 考虑一个由 2 个供应商和单制造商组成的装配型供应链, 分析并建立了制造商、Supply-hub 和 2 个供应商的平均成本函数, 提出了分别由制造商和 2 个供应商负责 Supply-hub 营运及成本时的生产与订货批量模型。研究结果表明: 当由制造商负责时, 供应商距离 Supply-hub 越远, 制造商的生产批量越大, 且 Supply-hub 中的零部件补货批量相比供应商负责时更大; 当由供应商负责时, 制造商的生产批量不随供应商的远近而变化, 供应商的零部件生产批量也不变。此外, 在适用 Supply-hub 的条件下, 相比由制造商负责, 由 2 个供应商负责 Supply-hub 的运营并分担其成本时, 整个供应链的总成本更低, 2 个供应商与制造商之间可以通过合理分配使 2 个供应商与制造商的营运成本均有所降低, 从而实现整个供应链系统的 Pareto 优化。

**关键词:** 供应链; 准时供货; 集配中心; 批量协调

**中图分类号:** C93; O225 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-884X(2012)08-1218-07

## Lot Sizes Coordination among a Manufacturer and Two Suppliers Based on Supply-Hub

GUI Huaming<sup>1</sup> MA Shihua<sup>2</sup> GUAN Xu<sup>2</sup> ZHANG Linlan<sup>1</sup>

(1. Hubei University, Wuhan, China;

2. Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, China)

**Abstract:** Considering an assembly-type supply chain consisting of two suppliers and a manufacturer, the cost functions of them are established. Moreover, the production and order quantity models are proposed respectively by the manufacturer and two suppliers responsible for the supply-hub's operation and costs. The results show that when the manufacturer is responsible for the supply-hub's operation, the farther the suppliers are from the supply-hub, the greater the manufacturer's production quantity is, and the replenishing lot-sizes of parts to the supply-hub are greater compared to the manufacturer being responsible for the supply-hub's operation. When two suppliers are responsible for the supply-hub's operation, the production quantities of the manufacturer and suppliers do not vary with the distance between suppliers and supply-hub. Moreover, in the conditions for using supply-hub model, compared to the manufacturer, the suppliers are responsible for supply-hub operation and costs, which may make the whole supply chain to achieve Pareto optimization since the manufacturer and suppliers can obtain a win-win solution.

**Key words:** supply chain; JIT; supply-hub; lot sizes coordination

在 JIT 环境下, 许多企业(特别是装配型制造企业)为了减少自身的库存量, 不仅在企业内部按 JIT 方式组织生产, 也要求上游的供应商按 JIT 方式供货。为了满足制造商的供货要求, 一些距离制造商工厂较远的供应商只能在

制造商工厂周边租用仓库, 将零部件储存在仓库中, 以便制造商生产需要时, 随时供货。这种方式虽然对制造商有利, 但极大地增加了供应商管理库存的难度和费用, 为了分担费用, 同一制造商上游的一些供应商开始联合起来在制造

商周边租用仓库,并共同对存货进行管理。后来,这些供应商直接将存货委托给在制造商工厂周边拥有仓库资源的 TPL 公司,由其统一接收和储存各供应商的供货,再按制造商的生产指令组配后直接送到制造商工厂的线边仓库或工位。这种运作方式被称作 Supply-hub 供货模式。Supply-hub 供货模式有利于制造商的运作,可以极大地减少和简化制造商与上游众多供应商之间的供货协同,从而得到许多制造商的认同,一些制造商开始主导 Supply-hub 的运作。

在 Supply-hub 供货模式的发展过程中,先是供应商联合运作,后制造商又积极主导,但到底应由谁负责 Supply-hub 的营运并承担相关费用,尚无定论。如果由制造商负责 Supply-hub 的营运,制造商在进行生产和订货决策时,需要充分考虑自身和 Supply-hub 的成本,有效控制为满足客户需求而付出的总支出,该问题实际上是一个联合采购与生产批量决策问题。如果由供应商负责 Supply-hub 的营运,相当于供应中的寄售模式,即由供应商负责 Supply-hub 中的零部件补货及存货控制,直到供应商将零部件移交给制造商使用,制造商才支付相应的货款,Supply-hub 中的零部件补货、发货及库存持有成本都由供应商承担。

## 1 文献综述

Supply-hub 在欧美等国应用较早,亚洲紧跟其后,电子、汽车等行业采用此模式的较为广泛<sup>[1~6]</sup>。

整合物料采购和产品生产的联合批量决策能够进一步降低总成本,从而使企业整体受益,这种模型被称作整合采购与生产系统(IPP, integrated procurement-production),其目标是通过联合决策物料订货批量和产品生产批量,使包括物料订货、物料库存持有、生产准备、完工产品库存持有等费用的平均总成本最小<sup>[7~9]</sup>。LEE<sup>[10]</sup>提出了一个联合库存控制模型,以确定买方订货量、制造商生产批量和原材料订货批量,目的是使包括制造商的原材料订货和库存持有、产品生产准备和库存持有、买方订货和库存持有等费用在内的单位时间平均总成本最小,数例分析表明,联合决策的总成本要比分开决策时低。

在商业行为中,寄售被广泛应用,寄售也是一种常用的供应链协作方式<sup>[8,11~16]</sup>。寄售是指供应商将货物存放在买方的仓库中,货物在买

方使用之前,货物的所有权归供应商,买方使用货物后,才支付货款给供应商。

上述文献分别从 Supply-hub 运作、联合采购与生产、寄售 3 个不同的角度研究了供应商与制造商(或制造商与零售商)之间的批量决策和协调问题,尚没有文献将三者结合起来进行研究,本文考虑 JIT 环境下,在 1 个制造商与 2 个供应商之间嵌入 Supply-hub 时,分别由制造商和供应商负责 Supply-hub 营运及成本下的批量决策,并对 2 种情况下的供应链成本进行了比较分析。

## 2 问题描述

考虑 1 个制造商向 2 个供应商购买生产产品需要的零部件,由负责 Supply-hub 的 TPL 公司到供应商处提货,先存放在 Supply-hub 中,然后根据制造商的生产指令,按 JIT 方式直接将零部件送到制造商工厂的线边仓库(见图 1)。每个供应商只供应 1 种零部件,且 2 种零部件及产品之间的装配比例为 1:1:1(如果为  $n:m:1$ ,模型中可以处理,使其转换为 1:1:1,因此直接假设 1:1:1 不失一般性)。制造商下游买方的需求一定,年需求量为  $D$ ,制造商的生产批量为  $Q$ ,对应需要的零件也为  $Q$ 。Supply-hub 在制造商工厂周边,而供应商距离 Supply-hub 和制造商工厂较远,由 Supply-hub 运送到制造商工厂的零部件批量与其对应的生产批量一致,而由 2 个供应商到 Supply-hub 的零部件运输批量是由 Supply-hub 发运到制造商工厂零部件批量的  $n_i$  倍( $i=1,2$ ),2 个供应商的零部件生产批量又是其发运量的  $m_i$  倍, $n_i$  和  $m_i$  均为大于或等于 1 的正整数。

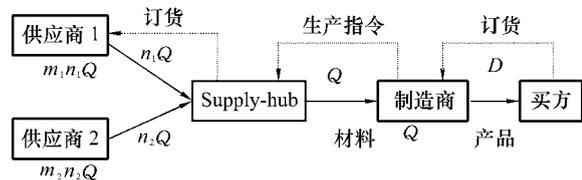


图 1 基于 Supply-hub 的库存控制模式

为了构建模型,定义符号为: $A$  为制造商每次的生产准备成本; $S_i$  为供应商每次的生产准备成本( $i=1,2$ ); $C_{H_i}$  为每次零部件从 Supply-hub 到制造商的订货及运输成本( $i=1,2$ , 零部件 1 和 2 按比例组配后一起配送到制造商处,可以按其重量或体积比确定合理的  $C_{H_i}$  值); $C_{S_i}$  为每次零部件从供应商到 Supply-hub 的订货及运输成本( $i=1,2$ ); $K_{S_i}$ 、 $K_{H_i}$ 、 $K_{M_i}$  分别为单位

零部件在供应商、Supply-hub 和制造商处的单位时间库存持有成本 ( $i=1, 2$ );  $H$  为单位产品在制造商处的单位时间库存持有成本;  $D$  为外部市场对制造商产品的年需求量;  $P_F$  为制造商的年生产速率;  $P_R$  为供应商的年生产速率 ( $i=1, 2$ );  $Q$  为制造商的产品生产批量;  $n_i$  为由供应商到 Supply-hub 的零部件发运批量与由 Supply-hub 发运到制造商工厂零部件批量的比值 ( $i=1, 2$ );  $m_i$  为供应商零部件生产批量与由供应商到 Supply-hub 的零部件发运批量的比值 ( $i=1, 2$ );  $T_M^C$  为制造商的年营运总成本;  $T_{H_i}^C$  为 Supply-hub 的年营运总成本 ( $i=1, 2$ );  $T_S^C$  为供应商的年营运总成本 ( $i=1, 2$ );  $T_T^C$  为整个供应链的年营运总成本。

上述参数中,  $A, S_i, C_{H_i}, C_S, K_S, K_{H_i}, K_{M_i}, H, D, P_F, P_R$  为给定参数,  $Q, n_i, m_i$  为决策变量。  $P_F$  为制造商的年生产速率,  $P_R$  为供应商的年生产速率, 且  $P_R > P_F > D$ 。 每次的生产准备、订货及运输等成本固定, 与批量无关。 考虑到加工过程中的增值,  $H > K_{M_1} + K_{M_2}$ , 且从供应链的上游到下游, 单位零部件单位时间的库存持有成本越大, 即  $K_{M_1} > K_{H_1} > K_{S_1}$ 。 制造商的产品生产批量为  $Q$ , 从 Supply-hub 发运到制造商工厂的零部件批量为  $Q$ , 从供应商发运到 Supply-hub 的零部件批量为  $n_i Q$ , 供应商处的零部件生产批量为  $m_i n_i Q$ , 其中,  $m_i$  和  $n_i$  均为大于等于 1 的正整数。 所有的订货提前期均为常量, 所订产品和零部件均不允许缺货或延期供货。

### 3 成本函数

与制造商运作相关的成本主要包括生产准备成本、产品库存持有成本、线边零部件库存持有成本等; 与 Supply-hub 运作相关的成本主要包括: 由 Supply-hub 到制造商工厂的订单处理及运输成本, Supply-hub 中的零部件库存持有成本, 以及由供应商到 Supply-hub 的零部件订单处理和运输成本; 与供应商运作相关的成本主要包括生产零部件的准备成本、零部件的库存持有成本。 为了不重复计算, 不考虑制造商向 Supply-hub 和 Supply-hub 向供应商的零部件订货成本。

#### 3.1 制造商的年总成本

制造商的生产准备成本。 制造商的生产批量为  $Q$ , 其年生产次数为  $D/Q$ , 每次的生产准备成本为  $A$ , 则其全年总的生产准备成本为  $(D/Q)A$ 。

制造商的产品库存持有成本。 制造商的生

产批量为  $Q$ , 年生产速率为  $P_F$ , 年需求量为  $D$ , 该情形为典型的经济生产批量模式, 其年平均库存持有量为  $\frac{Q}{2}(1 - D/P_F)$ , 产品的年平均库存持有成本为  $\frac{Q}{2}(1 - D/P_F)H$ 。

制造商的零部件线边库存持有成本。 由于 Supply-hub 离制造商工厂较近, 负责 Supply-hub 的 TPL 公司按 JIT 方式向制造商工厂供货, 零部件在每次生产前到达, 生产结束时, 零部件刚好用完。 制造商的零部件年平均库存量为  $\frac{1}{2}Q \frac{T_P}{T}$ , 而  $T_P = \frac{D}{P_F}T$ , 则制造商的零部件年平均库存量为  $\frac{1}{2}Q \frac{D}{P_F}$ , 制造商的零部件年平均库存持有成本为  $\frac{1}{2}Q \frac{D}{P_F}(K_{M_1} + K_{M_2})$ 。

由此, 可得制造商的年总成本

$$T_M^C = \left(\frac{D}{Q}\right)A + \frac{Q}{2}\left(1 - \frac{D}{P_F}\right)H + \frac{1}{2}Q \frac{D}{P_F}(K_{M_1} + K_{M_2}) \quad (1)$$

#### 3.2 Supply-hub 的年总成本

Supply-hub 中的发货订单处理成本。 Supply-hub 中的年发货次数与制造商生产的次数一致, 即  $D/Q$ , 每次零部件的订单处理及运输成本为  $C_{H_i}$ , 则从 Supply-hub 到制造商工厂的年发货总成本为  $(D/Q)C_{H_i}$ 。

Supply-hub 中的进货订单处理成本。 从供应商到 Supply-hub 的年补货次数为  $\frac{D}{n_i Q}$ , 每次的订单处理及运输成本为  $C_S$ , 则 Supply-hub 中总的年进货订单处理成本为  $\frac{D}{n_i Q}C_S$ 。

Supply-hub 中的零部件库存持有成本。 Supply-hub 中的零部件年平均库存量为  $\frac{(n_i + 1)}{2}Q$ , 库存持有总成本为  $\frac{(n_i + 1)}{2}QK_{H_i}$ 。

由此, 可得 Supply-hub 的年总成本

$$T_{H_i}^C = \frac{(n_i + 1)}{2}QK_{H_i} + \frac{D}{n_i Q}C_S + \frac{D}{Q}C_{H_i} \quad (2)$$

#### 3.3 供应商的年总成本

供应商的生产准备成本。 供应商年生产零部件的次数为  $\frac{D}{m_i n_i Q}$ , 年生产准备成本为

$$\frac{D}{m_i n_i Q}S_i$$

供应商的零部件库存持有成本。 供应商的年生产次数为  $\frac{D}{m_i n_i Q}$ , 生产间隔期为  $T'_i$ ,  $T'_i = \frac{m_i n_i Q}{D}$ , 每次的生产时间为  $T'_p$ , 由于  $P_R > D$ ,

$T'_{P_i} < T'_i$ , 且  $T'_{P_i} = \frac{D}{P_R} T'_i$ 。生产时间内, 供应商持有的零部件库存量呈锯齿状变化。供应商的零部件年平均库存量为  $\frac{m_i n_i Q}{2} (1 + \frac{1}{m_i} - \frac{D}{P_R})$ <sup>[11]</sup>, 其零部件库存持有的年平均总成本为  $\frac{m_i n_i Q}{2} (1 + \frac{1}{m_i} - \frac{D}{P_R}) K_{S_i}$ 。

由此, 可得供应商的年总成本

$$T_{S_i}^c = \frac{D}{m_i n_i Q} S_i + \frac{m_i n_i Q}{2} (1 + \frac{1}{m_i} - \frac{D}{P_{R_i}}) K_{S_i} \quad (3)$$

### 4 批量决策模型

#### 4.1 由制造商负责 Supply-hub 的营运及成本

如果由制造商负责 Supply-hub 的营运及成本, 则由式(1)和式(2), 可得两者的年总成本为

$$T^{c'} = (\frac{D}{Q})A + \frac{D}{2}(1 - \frac{D}{P_F})H + \frac{1}{2}Q \frac{D}{P_F}(K_{M_1} + K_{M_2}) + \sum_{i=1}^2 [\frac{(n_i + 1)}{2}QK_{H_i} + \frac{D}{n_i Q}C_{S_i} + \frac{D}{Q}C_{H_i}] \quad (4)$$

考虑到零部件之间的配套, 在制造商负责 Supply-hub 的营运及成本时, 取  $n_1 = n_2 = n$ , 则

$$T^{c'} = (\frac{D}{Q})A + \frac{Q}{2}(1 - \frac{D}{P_F})H + \frac{1}{2}Q \frac{D}{P_F}(K_{M_1} + K_{M_2}) + \frac{(n+1)}{2}Q(K_{H_1} + K_{H_2}) + \frac{D}{nQ}(C_{S_1} + C_{S_2}) + \frac{D}{Q}(C_{H_1} + C_{H_2}) \quad (5)$$

在这种情况下, 先由制造商根据式(5)对  $Q$  和  $n$  进行决策, 然后, 2 个供应商各自再根据式(3)对  $m_i$  进行决策。

在由式(5)确定的函数  $T^{c'}(n, Q)$  中,  $Q$  可以连续取值, 而  $n$  则为不连续的值, 如果假定  $n$  也可以连续取值, 可以证明函数  $T^{c'}(n, Q)$  具有凹性, 则由  $\frac{\partial T^{c'}}{\partial Q} = \frac{\partial T^{c'}}{\partial n} = 0$ , 可得

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D(A + C_{H_1} + C_{H_2} + \frac{C_{S_1} + C_{S_2}}{n})}{(1 - \frac{D}{P_F})H + \frac{D}{P_F}(K_{M_1} + K_{M_2}) + (n+1)(K_{H_1} + K_{H_2})}} \quad (6)$$

$$n^* = \sqrt{\frac{[(1 - \frac{D}{P_F})H + \frac{D}{P_F}(K_{M_1} + K_{M_2}) + K_{H_1} + K_{H_2}](C_{S_1} + C_{S_2})}{(A + C_{H_1} + C_{H_2})(K_{H_1} + K_{H_2})}} \quad (7)$$

将式(6)代入式(5), 可得

$$T^{c'}(n, Q^*) = \left\{ 2D(A + C_{H_1} + C_{H_2} + \frac{C_{S_1} + C_{S_2}}{n}) + [(1 - \frac{D}{P_F})H + \frac{D}{P_F}(K_{M_1} + K_{M_2}) + \right.$$

$$\left. (n+1)(K_{H_1} + K_{H_2}) \right\}^{1/2} \quad (8)$$

先由式(7)计算  $n^*$ , 分别取  $n = \lfloor n^* \rfloor$  和  $\lfloor n^* \rfloor + 1$ , 代入式(8), 再比较  $T^{c'}(\lfloor n^* \rfloor)$  和  $T^{c'}(\lfloor n^* \rfloor + 1)$ , 如果  $T^{c'}(\lfloor n^* \rfloor) < T^{c'}(\lfloor n^* \rfloor + 1)$ , 取  $\lfloor n^* \rfloor$  为最优的  $n$  值, 如果  $T^{c'}(\lfloor n^* \rfloor) > T^{c'}(\lfloor n^* \rfloor + 1)$ , 取  $\lfloor n^* \rfloor + 1$  为最优的  $n$  值。

在  $n$  和  $Q$  一定的情况下, 由式(3)可知,

$T_{S_i}^c(m_i)$  是  $m_i$  的凹函数。由  $\frac{\partial T_{S_i}^c}{\partial m_i} = 0$ , 可得

$$m_i^* = \frac{1}{nQ} \sqrt{\frac{2DS_i}{(1 - D/P_{R_i})K_{S_i}}} \quad (9)$$

同上, 先由式(9)计算  $m_i^*$ , 分别取  $m_i = \lfloor m_i^* \rfloor$  和  $\lfloor m_i^* \rfloor + 1$ , 代入式(3), 再比较  $T_{S_i}^c(\lfloor m_i^* \rfloor)$  和  $T_{S_i}^c(\lfloor m_i^* \rfloor + 1)$ , 若  $T_{S_i}^c(\lfloor m_i^* \rfloor) < T_{S_i}^c(\lfloor m_i^* \rfloor + 1)$ , 取  $\lfloor m_i^* \rfloor$  为最优的  $m_i$  值; 若  $T_{S_i}^c(\lfloor m_i^* \rfloor) > T_{S_i}^c(\lfloor m_i^* \rfloor + 1)$ , 取  $\lfloor m_i^* \rfloor + 1$  为最优的  $m_i$  值。

#### 4.2 由供应商负责 Supply-hub 的营运及成本

如果由 2 个供应商负责 Supply-hub 的营运并分担各自零部件的成本, 则由式(2)和式(3), 可得两者的年总成本为

$$T^{c''}_i = \frac{(n_i + 1)}{2}QK_{H_i} + \frac{D}{n_i Q}C_{S_i} + \frac{D}{Q}C_{H_i} + \frac{D}{m_i n_i Q}S_i + \frac{m_i n_i Q}{2} (1 + \frac{1}{m_i} - \frac{D}{P_{R_i}}) K_{S_i} \quad (10)$$

在这种情况下, 先由制造商根据式(1)对  $Q$  进行决策, 然后, 2 个供应商再根据式(9)对  $m_i$  和  $n_i$  进行决策。

由式(1), 可得由供应商负责 Supply-hub 的营运及成本时, 制造商最优的产品生产批量

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DA}{(1 - \frac{D}{P_F})H + \frac{D}{P_F}(K_{M_1} + K_{M_2})}} \quad (11)$$

如果假定  $m_i, n_i$  可以连续取值, 可以证明函数  $T^{c''}_i(m_i, n_i)$  具有凹性, 则由  $\frac{\partial T^{c''}_i}{\partial m_i} = \frac{\partial T^{c''}_i}{\partial n_i} = 0$ , 可得

$$m_i^* = \sqrt{\frac{(K_{H_i} + K_{S_i})S_i}{C_{S_i}(1 - D/P_{R_i})K_{S_i}}} \quad (12)$$

$$n_i^* = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{2DC_{S_i}}{(K_{H_i} + K_{S_i})}} \quad (13)$$

由于  $m_i, n_i$  为不连续的整数值, 式(12)只能确定最优  $m_i$  值的大致范围, 即最优  $m_i$  值为接近通过式(12)得到的  $m_i^*$  值的整数值。

假定  $m_i^*$  给定, 最优  $n_i^*$  值应同时满足以下 2 个不等式

$$T^{c''}_i(m_i^*, n_i^*) \leq T^{c''}_i(m_i^*, n_i^* + 1); \quad (14)$$

$$T^{c''}_i(m_i^*, n_i^*) \leq T^{c''}_i(m_i^*, n_i^* - 1) \quad (15)$$

由  $T^{c''}_i(m_i^*, n_i^* + 1) - T^{c''}_i(m_i^*, n_i^*) \geq 0$ ,

可得

$$n_i^* (n_i^* + 1) \geq \frac{2D(C_{S_i} + S_i/m_i^*)}{Q^2 [K_{H_i} + K_{S_i} + m_i^* (1 - D/P_{R_i}) K_{S_i}]} = Z(m_i^*) \quad (16)$$

又由  $T_i^{C''}(m_i^*, n_i^* - 1) - T_i^{C''}(m_i^*, n_i^*) \geq 0$ , 可得

$$Z(m_i^*) \geq n_i^* (n_i^* - 1) \quad (17)$$

结合式(16)和式(17), 可得

$$n_i^* (n_i^* + 1) \geq Z(m_i^*) \geq n_i^* (n_i^* - 1) \quad (18)$$

根据上述分析, 求最优解的步骤如下:

步骤 1 由式(12), 得到  $m_i^*$ ;

步骤 2 让  $m_i = \lfloor m_i^* \rfloor$ , 转子程序。让  $T_i^{C^*} = T_i^{C''}$ ;

步骤 3 让  $m_i = \lfloor m_i^* \rfloor + 1$ , 转子程序。让  $T_i^C(+)^* = T_i^{C''}$ ;

步骤 4 让  $m_i = \lfloor m_i^* \rfloor - 1$ , 转子程序。让  $T_i^C(-)^* = T_i^{C''}$ ;

步骤 5 如果  $T_i^C(-)^* \geq T_i^{C^*} \leq T_i^C(+)^*$ ,  $T_i^{C^*}$  最优, 停止; 如果  $T_i^C(-)^* \geq T_i^{C^*} \geq T_i^C(+)^*$ , 让  $T_i^{C^*} = T_i^C(+)^*$ ,  $m_i = \lfloor m_i^* \rfloor + 1$ , 转到步骤 6; 如果  $T_i^C(-)^* \leq T_i^{C^*} \leq T_i^C(+)^*$ , 让  $T_i^{C^*} = T_i^C(-)^*$ ,  $m_i = \lfloor m_i^* \rfloor - 1$ , 转到步骤 8。

步骤 6 让  $m_i = m_i + 1$ , 转子程序。

步骤 7 如果  $T_i^{C^*} > T_i^{C''}$ , 让  $T_i^{C^*} = T_i^{C''}$ , 转步骤 6; 否则, 首轮得到最优解  $T_i^{C''}(Q^*, m_i^*, n_i^*)$ , 停止。

步骤 8 让  $m_i = m_i - 1$ , 转子程序。

步骤 9 如果  $T_i^{C^*} > T_i^{C''}$ , 让  $T_i^{C^*} = T_i^{C''}$ , 转步骤 8; 否则, 首轮得到最优解  $T_i^{C''}(Q^*, m_i^*, n_i^*)$ , 停止。

子程序:

(1) 由式(16)得到相应的  $n_i$  值;

(2) 把相应组合的  $(m_i, n_i)$  输入到式(10), 得到相应的  $T_i^{C''}$  值, 返回。

在上述计算程序中, 如果步骤 2 中  $\lfloor m_i^* \rfloor = 1$ , 则略去步骤 4 和步骤 8, 步骤 5 调整为: 如果  $T_i^{C^*} \leq T_i^C(+)^*$ ,  $T_i^{C^*}$  最优, 停止; 如果  $T_i^{C^*} \geq T_i^C(+)^*$ , 让  $T_i^{C^*} = T_i^C(+)^*$ ,  $m_i = \lfloor m_i^* \rfloor + 1$ , 转到步骤 6。

### 4.3 2 种情况下的供应链总成本比较

当由制造商负责 Supply-hub 的营运及成本时, 决策组合  $(Q, n_i, m_i)$  应该接近由式(6)、式(7)、式(9)确定的最优组合  $(Q^*, n_i^*, m_i^*)$ , 即  $n_i$  和  $m_i$  可以连续取值时的决策组合; 当由 2 个供应商分担 Supply-hub 的营运及成本时, 决策组合  $(Q, n_i, m_i)$  应该接近由式(11)~式(13)确定的最优组合  $(Q^*, n_i^*, m_i^*)$ 。2 种情况下的决策

组合  $(Q, n_i, m_i)$  对应的供应链总成本均应接近  $n_i$  和  $m_i$  可以连续取值时的最优组合  $(Q^*, n_i^*, m_i^*)$  对应的供应链总成本。通过比较  $n_i$  和  $m_i$  连续取值时 2 种不同 Supply-hub 营运主体下的供应链总成本, 可以近似判断 2 种不同营运方式的优先条件。

将式(6)、式(7)、式(9)确定的组合  $(Q^*, n_i^*, m_i^*)$  分别代入式(8)和式(3), 可得由制造商负责 Supply-hub 的营运及成本时供应链的总成本为

$$T_T^{C'} = \sqrt{2D}(\sqrt{(A + C_{H_1} + C_{H_2})(\Omega + K_{H_1} + K_{H_2})} + \sqrt{(C_{S_1} + C_{S_2})(K_{H_1} + K_{H_2})} + \sqrt{2DS_1\Psi_1} + \sqrt{2DS_2\Psi_2} + \frac{K_{S_1} + K_{S_2}}{2} \sqrt{\frac{2D(C_{S_1} + C_{S_2})}{K_{H_1} + K_{H_2}}}) \quad (19)$$

式中,  $\Omega = (1 - \frac{D}{P_F})H + \frac{D}{P_F}(K_{M_1} + K_{M_2})$ ;  $\Psi_i = (1 - \frac{D}{P_{R_i}})K_{S_i} (i=1, 2)$ 。

将式(11)~式(13)确定的组合  $(Q^*, n_i^*, m_i^*)$  分别代入式(10)、式(1), 可得由 2 个供应商分担 Supply-hub 的营运及成本时供应链的总成本为

$$T_T^{C''} = \sqrt{2DA\Omega} + \sqrt{2D_{S_1}^C(K_{H_1} + K_{S_2})} + \sqrt{2D_{S_2}^C(K_{H_2} + K_{S_2})} + \sqrt{2DS_1\Psi_1} + \sqrt{2DS_2\Psi_2} + \frac{K_{H_1} + K_{H_2}}{2} \sqrt{\frac{2DA}{\Omega}} + \frac{C_{H_1} + C_{H_2}}{2} \sqrt{\frac{2D\Omega}{A}} \quad (20)$$

为了便于分析, 在此假定 2 个供应商的相关营运参数相同, 取  $K_{H_1} = K_{H_2} = K_H$ ,  $K_{S_1} = K_{S_2} = K_S$ ,  $C_{H_1} = C_{H_2} = C_H$ ,  $C_{S_1} = C_{S_2} = C_S$ , 分别代入式(19)、式(20)可得  $T_T^{C'} > T_T^{C''}$  的条件为

$$C_S > \frac{\Lambda\Omega}{K_H} \left( \frac{\sqrt{C_H/A + 1/2} - \sqrt{K_H/\Omega + 1/2}}{\sqrt{K_S/K_H + 1} - 1} \right)^4 \quad (21)$$

一般 Supply-hub 靠近制造商工厂, 正常情况下  $C_H < A$  且  $C_H \ll C_S$ , 又  $K_H < \Omega$ , 而  $K_S$  略小于  $K_H$ , 显然, 在其他参数一定的情况下, 只要  $C_S$  足够大, 即 2 个供应商距离 Supply-hub 较远时, 相比由制造商负责 Supply-hub, 由 2 个供应商分担 Supply-hub 的营运及成本时的供应链总成本更低。该条件与 Supply-hub 的适用条件一致, 因为一般 Supply-hub 布置在制造商工厂的周边, 如果供应商距离 Supply-hub 太近, 供应商可以按 JIT 方式直接供货给制造商, 而无需经 Supply-hub 中转。

## 5 数值分析

假定 1 个制造商向 2 个供应商购买生产产品需要的零部件 1 和 2,完工产品与两零部件之间的组配比为 1 : 1 : 1,由负责 Supply-hub 的 TPL 公司到 2 个供应商处提货,先存放在 Supply-hub 中,然后根据制造商的生产指令,按 JIT 方式将零部件组配后直接送到制造商工厂的线边仓库。由于  $K_M > K_{H_1} > K_{S_1}$ ,在此假定其值按 15% 的比例递减。相关参数取值如下:  $A=300, S_1=500, S_2=600, C_{H_1}=90, C_{H_2}=60, H=40, K_{M_1}=18, K_{H_1}=15.3, K_{S_1}=13, K_{M_2}=12, K_{H_2}=10.2, K_{S_2}=8.7, D=2\ 000, P_F=8\ 000, P_{R_1}=10\ 000, P_{R_2}=12\ 000$ 。为了分析 2 个供应商距离 Supply-hub 和制造商工厂远近对批量及成本的影响,分别取  $C_{S_i}$  为 600 和 1 200 ( $C_{S_i}$  越大,表明供应商距离 Supply-hub 越远),决策变量和相关成本的变化见表 1,情况 1 和情况 2 表示分别由制造商和 2 个供应商负责 Supply-hub 的补货决策并承担相关费用。

表 1  $m_i^*, n_i^*, Q^*$  和  $T_T^C$  随  $C_{S_i}$  变化情况表

	$C_{S_1}$	$C_{S_2}$	$Q^*$	$n_1^*$	$n_2^*$	$m_1^*$	$m_2^*$	$T_T^C$	$1-T_T^{C_1}/T_T^{C_2}$
情况 1	600	600	209.2	3	3	1	1	36 004.6	
	600	1 200	227.0	4	4	1	1	42 945.7	
	1 200	600	227.0	4	4	1	1	42 945.7	
	1 200	1 200	279.6	3	3	1	1	43 876.1	
情况 2	600	600	266.7	1	1	2	2	31 937.9	11%
	600	1 200	266.7	1	2	2	1	34 461.0	20%
	1 200	600	266.7	2	1	1	2	35 715.9	24%
	1 200	1 200	266.7	2	2	1	1	38 239.1	13%

由表 1 可知,当由制造商负责 Supply-hub 的营运及成本时,制造商的最优生产批量随着  $C_{S_1} + C_{S_2}$  的增大而增大,说明如果 2 个供应商距离 Supply-hub 较远时,制造商为了降低零部件的运输成本,会适当增大生产批量,进而增大从供应商到 Supply-hub 的零部件补货批量。当由供应商负责 Supply-hub 的营运及成本时,制造商的最优生产批量一定,不随  $C_{S_1} + C_{S_2}$  的增大而变化,说明制造商在进行批量决策时,不会考虑生产批量对零部件运输成本的影响。由制造商负责 Supply-hub 的营运及成本时,其从供应商到 Supply-hub 的补货批量较供应商负责时大,从而使供应商只能按 1 对 1 的批量安排零部件的生产,说明制造商在向供应商订货时,由于自己负责零部件的运输成本,从而不得不

考虑运输的规模经济,但由于订货批量较大,可能超过了供应商的最优生产批量,供应商只能按 1 对 1 的方式组织零部件的生产。当由供应商负责 Supply-hub 的营运及成本时,2 个供应商的生产批量较为稳定,均为制造商生产一批产品所需零部件的 2 倍,说明由供应商负责 Supply-hub 的营运及成本时,供应商可以合理规划 and 协调由供应商到 Supply-hub 的补货批量及其自身的生产批量,并保持零部件生产批量的稳定,从而节省更多的成本。

此外,由表 1 可知,相比由制造商负责 Supply-hub 的营运及成本,由 2 个供应商负责时整个供应链的总成本节省 11.3%~24.5%,且 2 个供应商离 Supply-hub 的距离相差较大时节省的费用更多,这说明前面在比较 2 种情况下的供应链总成本时假设 2 个供应商的参数相同是可取的。前面的数学分析也表明,在供应商离 Supply-hub 超过一定的距离时,相比由制造商负责 Supply-hub 的营运及成本,由 2 个供应商负责时,整个供应链的总成本更少。一般而言,相比制造商,零部件供应商的生产柔性更低,生产准备成本也更高,当由其负责 Supply-hub 的营运及成本时,能够综合考虑 Supply-hub 和自身的生产成本,在保持零部件生产批量稳定的前提下调整向 Supply-hub 的发货批量,从而节省更多的费用,特别是在 2 个供应商离 Supply-hub 的距离相差较大时,供应商可以根据自身情况灵活决策,总体节省的费用更多。而 Supply-hub 离制造商工厂较近,制造商的生产准备成本又较小,由制造商负责 Supply-hub 的营运及成本时,通过平衡产品生产批量和 Supply-hub 中零部件的补货批量能够节省的费用少一些。此外,在 2 个供应商负责 Supply-hub 的营运及成本时,由于整个供应链的营运成本降低,2 个供应商与制造商之间可以通过合理分配使 2 个供应商与制造商的营运成本均有所降低,从而实现整个供应链系统的 Pareto 优化。

## 6 结论

在许多装配型供应链中,制造商普遍采用 JIT 的零部件供应方式,为了协同距离制造商工厂较远的供应商的供货,Supply-hub 的供货模式被提出并得到广泛应用。基于这种运作模式,本文分析了制造商、Supply-hub 和 2 个供应商的成本函数,提出了分别由制造商和 2 个供

应商负责 Supply-hub 运营及成本的生产与订货批量模型,并分析比较了 2 种情况下的供应链成本,研究结果表明:当由制造商负责时,供应商距离 Supply-hub 越远,制造商的生产批量越大,且 Supply-hub 中的零部件补货批量相比供应商负责时更大;当由供应商负责时,制造商的生产批量不随供应商的远近而变化,供应商的零部件生产批量也不变。此外,在适用 Supply-hub 的条件下,相比由制造商负责,由 2 个供应商负责 Supply-hub 的运营并分担其成本时,整个供应链的总成本更低,2 个供应商与制造商之间可以通过合理分配使 2 个供应商与制造商的营运成本均有所降低,从而实现整个供应链系统的 Pareto 优化。

#### 参 考 文 献

- [1] ZUCKERMAN A. Compaq Switches to Pre-Position Inventory Model[R]. World Trade, 2000: 72~74.
- [2] CHEONG M L F, BHATNAGAR R, GRAVES S C. Logistics Network Design with Supplier Consolidation Hubs and Multiple Shipment Options [J]. Journal of Industrial and Management Optimization-AIMS, 2007, 3(1): 51~69.
- [3] SHAH J, GOH M. Setting Operating Policies for Supply Hubs[J]. International Journal of Production Economics, 2006, 100 (2): 239~252.
- [4] 马士华,龚凤美,刘风华.基于集配中心的生产和配送协同决策研究[J].计算机集成制造系统,2008,14(12):2421~2430.
- [5] 黎继子,马士华,郭培林,等.基于 BOM-Supply Hub 的供应链设计模型[J].计算机集成制造系统,2009,15(7):1299~1306.
- [6] 桂华明,马士华. Supply-hub 环境下的多源供货模式与协同批量决策研究[J].中国管理科学,2010,18(1):78~82.
- [7] JAMAL A M M, SARKER B R. An Optimal Batch Size for a Production System Operating Under A Just-In-Time Delivery System[J]. International Journal of Production Economic, 1993, 32(2): 255~260.
- [8] SARKER B R, PARIJA G R. Optimal Batch Size and Raw Material Ordering Policy for a Production System with a Fixed-Interval, Lumpy Demand Delivery System[J]. European Journal of Operational Research, 1996, 89(3): 593~608.
- [9] PARIJA G R, SARKER B R. Operations Planning in a Supply Chain System with Fixed-Interval; Deliveries of Finished Goods Multiple Customers [J]. IIE Transactions, 1999, 31(11): 1075~1082.
- [10] LEE W. A Joint Economic Lot Size Model for Raw Material Ordering, Manufacturing Set Up, and Finished Good Delivering [J]. Omega, 2005, 33(2): 163~174.
- [11] VALENTINI G, ZAVANELLA L. The Consignment Stock of Inventories; Industrial Case Study and Performance Analysis [J]. International Journal of Production Economics, 2003, 81-82 (11): 215 ~ 224.
- [12] BRAGLIA M, ZAVANELLA L. Modeling An Industrial Strategy For Inventory Management In Supply Chains: 'The Consignment Stock Case' [J]. International Journal of Production Research, 2003, 41(16): 3793~3808.
- [13] ZAVANELLA L, ZANONI S. A One-Vendor Multi-Buyer Integrated Production-Inventory Model: 'The Consignment Stock Case' [J]. International Journal of Production Economics, 2009, 118(1): 225~232.
- [14] LEE C, CHU W. Who Should Control Inventory in a Supply Chain? [J]. European Journal of Operational Research, 2005, 164(11): 158~172.
- [15] RU J, WANG Y. Consignment Contracting: Who Should Control Inventory in the Supply Chain? [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 201(3): 760~769.
- [16] LI S, ZHU Z, HUANG L. Supply Chain Coordination and Decision Making Under Consignment Contract with Revenue Sharing [J]. International Journal of Production Economics, 2009, 120(1): 88~99.
- [17] MOHAMMAD A A R, BHABA R S. Supply Chain Models for an Assembly System with Preprocessing of Raw Materials [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 181(2): 733~752.

(编辑 刘继宁)

通讯作者:马士华(1956~),男,天津人。华中科技大学(武汉市 430074)管理学院教授、博士研究生导师。研究方向为物流与供应链管理。E-mail: shihuama@mail.hust.edu.cn