

文章编号: 1003-207(2011)02-0079-09

# 需求时间不确定下的多供应商配套 供货模型研究

关 旭, 马士华, 周奇超

(华中科技大学管理学院, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 本文在基于 Supply Hub 的运作模式下, 研究了  $N$  个配套供应商对单个制造商的单周期准时供货模型。当制造商的需求时间不确定时, 供应商需要依据预期成本最小化来确定各自最优的供货时间。通过找到各个供应商在信息封闭和信息共享这两种模式下的最优供货时间决策, 并且对比不同模式下供应商成本和制造商服务水平, 证明了配套供应商之间通过一定程度的信息共享能够有效降低成本和提高服务水平。最后提出一种基于 Supply Hub 主导的多供应商准时供货策略, 从而实现了系统整体绩效的优化。

**关键词:** 配套供应; 要货时间不确定; Supply Hub; 信息共享; 服务水平

中图分类号: F274 文献标识码: A

## 1 引言

准时供货(Just-in-time-delivery)是一种能够有效消除企业与供应商之间各种浪费、缩短客户订单响应时间的运作管理模式, 被越来越多的供应链系统所采用<sup>[1]</sup>。一般而言, 它的成功实施主要依托于供应链中上下游企业间的有效协调与合作。在这个过程中, 制造商作为主导者会采取各种方式来约束或者激励供应商, 以提高供应商的准时交货率<sup>[2]</sup>。但是在诸如汽车、电子制造等加工装配行业中, 能否实现准时供货还取决于供应商之间能否协调同步的供应零部件。这是因为在加工装配行业中, 完成一件产品所需要的零部件往往是由多个供应商根据物料清单(Bill of Material)配套供应。而其中任何一个零部件的延迟供应, 都会导致制造商无法按时生产, 不仅会延迟对终端客户的交货时间, 而且会对其他供应商的成本产生影响。正是针对这一问题, 越来越多的装配企业开始采取一种基于 Supply Hub 的运作模式来支撑准时采购与生产的顺利实施, 如

国内的神龙汽车公司与捷富凯一大田物流, 上海大众与安吉物流的合作方式。Supply Hub 也被称为集配中心, 一般位于制造厂附近, 用来储存全部或部分供应物料。供应商根据制造厂商未来某段时期的物料需求计划提前将零部件送至 Supply Hub 中, 然后由第三方物流企业将物料直送生产工位。一般来说, Supply Hub 能够通过循环取货和小批量取货的方式来有效提高多个供应商之间的补货与运输批量的协同<sup>[15]</sup>。而在本文中, 我们则将重点分析 Supply Hub 作为装配系统中的信息中转和分享中心所能够起到的巨大作用。

针对准时供应的问题, 学者们更多的是从供应链上下游的行为动机、激励与惩罚决策等角度进行研究。Lyer 和 Berge(1997)<sup>[2]</sup>认为制造商需要运用各种激励或惩罚措施以保证供应商能够准时地配送其所需物品。在此基础上, Grout(1996)<sup>[3]</sup>提出了供应商和制造商之间的静态博弈模型, 建立有效的激励机制, 以提高采购的准时交货概率。Guirida 和 Nagi(2006)<sup>[4]</sup>又讨论了当交货时间不确定的情况下, 采用交货窗的供货模式对于准时供货的影响。杨文胜和李莉(2006)<sup>[5]</sup>则分析了准时采购中制造商与供应商之间的动态交互行为, 建立了以制造商为主方的主从博弈模型。王玉燕(2007)<sup>[6]</sup>等针对四种不同的准时交货博弈模型进行了研究对比。但正如之前所说, 以上研究均着眼在供应商与制造商上下游的协同, 对于供应商与供应商之间的协同没有关

收稿日期: 2010-04-26; 修订日期: 2011-03-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71072035); 国家自然科学基金资助项目(71071050)

作者简介: 关旭(1984-), 男(汉族), 湖北武汉人, 华中科技大学管理学院, 博士研究生, 研究方向: 生产与运作管理研究。

注,尤其是需要供应商配套供应零部件的时候。事实上,在装配系统中,如何保证多个供应商之间的同步供应是相当关键并且十分复杂的。根据 Pyke 等(2000)<sup>[7]</sup>的调查报告显示:供应商与供应商之间的运作相关指数程度相当低,只有 0.18,从而对供应链整体绩效造成严重影响。而针对多供应商对单制造商的准时供应问题,研究相对较少。其中 Gurnani 和 Gerchak(2007)<sup>[8]</sup>研究了在供应商的实际到货数量不确定的情况下,供应商的供货协同问题,根据利益最大化原则,分别求出了在分散决策和集中决策下供应商的最优供货数量以及制造商的最优要货数量,但是没有考虑供货时间的影响。Tang 和 Grubbstrom(2006)<sup>[9]</sup>建立了随机供货提前期下,两供应商对单制造商的模型,讨论制造商应该如何确定采购时间以最小化库存的持有成本和缺货成本。浦徐进等(2007)<sup>[10]</sup>则在供应商交货时间不确定的情况下,分析了制造商如何通过惩罚和激励的措施来提高两个配套供应的供应商的准时供货率。但这两篇文章的立足点更多的是站在制造商角度:以制造商为核心来分析如何实现效益最大化问题。与之不同的是,本文主要关注供应商之间的交互影响关系和行为动机。

Supply Hub 作为一种新的供应物流运作模式,在加工—装配式供应链中已经逐渐得到应用,但相关的理论研究还不是很多。Barnes(2000)<sup>[11]</sup>最早系统的论述了 Supply Hub 运作管理模式是一种特定行业所采用的能够降低成本,提高响应性的创新战略。在此之后,王彧(2005)<sup>[12]</sup>、龚凤美和马士华(2007)<sup>[13]</sup>则分别针对 Supply Hub 模式所产生的背景、障碍,物流和信息流模型等问题进行了阐述。但以上研究大多集中在对 Supply Hub 这种管理模式存在意义和实施方式上的定性讨论。近年来针对 Supply Hub 的定量分析逐渐增多,其中 Shaha 和 Mark(2006)<sup>[14]</sup>建立了一个供应商,一个 Supply Hub,一个制造商组成的供应链系统,并设计了一种 Supply Hub 库存控制策略,以平衡供应链中各方的利益。桂华明和马士华(2010)<sup>[15]</sup>则分别建立了从各供应商仓库分别取货和采取沿送奶路线循环取货两种方式下的批量模型,并给出判定两种模式优劣的临界条件。与以上文献对 Supply Hub 模式的关注点不同,本文将强调 Supply Hub 对于整合供应商之间信息的重要性,并由此提出一种基于 Supply Hub 主导的多供应商信息共享机制,从而优化供应链整体绩效。

具体而言,本文将在 Supply Hub 的运作背景下,建立 N 个配套供应商对单个制造商的准时供货模型。考虑当制造商的零部件需求时间不确定时,供应商的供货时机选择问题。首先针对信息封闭和信息共享这两种模式,找到每个供应商最优的供货时间决策。然后通过对比在两种情况下供应商成本和供应链的服务水平,得到多供应商在信息共享模式下的最优供货策略;最后提出给出一种基于 Supply Hub 主导下的多供应商供货策略。相比于之前的研究具有以下几个特点:(1)将传统的单对单准时供货模型扩展到 N 对 1 准时供货模型,模式更有针对性,且协调难度更大;(2)不同于传统的供应链上下游纵向协同问题研究,将供应商之间的横向协同作为研究重点,这一点对于装配系统而言尤为重要;(3)考虑在 Supply Hub 模式下的信息共享问题,通过对比信息封闭和信息共享两种模式,找到在 Supply Hub 主导下的供应链优化策略。

## 2 模型建立与描述

考虑一个基于 Supply Hub 的多供应商供货系统,其模型如图 1 所示。一般而言,所有的供应商需要提前将某一批次的零部件放置于 Supply Hub 中,然后等待制造商的生产通知。而制造商只有等到所有的零部件配齐并且需求时间到达时才会开始生产,在本文中我们令制造商的加工装配时间为 0。假定每一批次的零部件需求数量确定,但需求时间不确定,存在着一个时间范围:0—1(0 代表需求最早的发生时间,1 代表最晚的发生时间)。根据协议,在 Supply Hub 模式下零部件采取下线结算,除非制造商开始生产,否则在 Supply Hub 中的零部件持有成本将由供应商承担。这也就代表着一旦供应商的交货时间  $T_i$  早于制造商的实际开工时间,供应商需要自己承担这段时间内的库存持有成本,令单位时间库存持有成本为  $\alpha_i$ 。但是如果供应商的供货时间晚于零部件的实际需求时间,供应商就必须通过赶工来尽早交货,单位时间成本为  $\beta_i$ 。因此,在这个单周期的供货过程中,供应商需要确定一个最优的供货时间来平衡自身的库存持有成本和赶工成本。而在多对 1 的配套供货环境下,不仅是零部件的需求时间,而且其他供应商的交货时间都会对供应商的成本产生影响。当信息封闭时,零部件的配齐时间只能通过历史经验获得,在本文中我们令零部件配齐时间都符合概率分布  $G(b)$ 。对于制造商而言,他所关注的是则是多个供应商的准时

供货率(服务水平)。下面给出模型所需要的相关参数:

零部件需求时间段为  $0-1$ ;  $0$  代表需求发生的最早时间,  $1$  代表最晚时间;

$T_i$ : 供应商  $i$  的供货时间决策,  $0 < T_i < 1, i = 1, 2, \dots, n$

$a$ : 零部件需求时间,  $0 < a < 1$ ;

$b$ : 零部件配齐时间——最后一个供应商的交货时间,  $0 < b < 1$ ;

$\alpha_i$ : 供应商  $i$  提前交货的单位库存持有成本,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$\beta_i$ : 当供应商交货时间  $T_i$  晚于制造商要求时间  $a$  的单位时间赶工成本,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$\gamma_i$ : 供应商库存持有成本和赶工成本之比  $\gamma_i = \frac{\alpha_i}{\beta_i}$ ;

$S$ : 配套供应商对于制造商的服务水平(准时交货概率);

$F(a)$  与  $f(a)$  分别为零部件需求时间  $a$  的分布函数与概率密度函数,  $F(0) = 0, F(1) = 1$ ;

$G(b)$  与  $g(b)$  分别为零部件配齐时间  $b$  的分布函数, 与概率密度函数,  $G(0) = 0, G(1) = 1$ 。

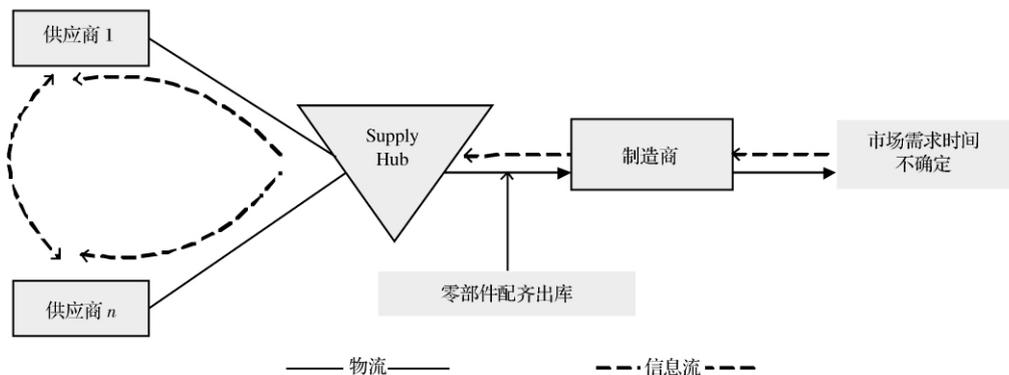


图 1 基于 Supply hub 的多供应商供货模型

为方便与后续研究进行对比, 首先分析供应商与制造商的 1 对 1 供应问题(独立供货模式)。即是供应商  $i$  在不考虑其他配套供应商交货时间影响下的供货时间选择。供应商  $i$  的预期成本为:

$$C_i = \beta_i \int_0^{T_i} (T_i - a) f(a) da + \alpha_i \int_{T_i}^1 (a - T_i) f(a) da \quad (1)$$

前一项表示延迟交货的赶工成本, 后一项表示提早交货的库存持有成本。通过对式(1)求关于供货时间  $T_i$  的导数可得:

$$C'_i(T_i) = (\alpha_i + \beta_i)F(T_i) - \alpha_i, \quad C''_i(T_i) = f(T_i) > 0。$$

由此可以得到每个供应商在单独供货情况下的最优时间选择

$$F(T_i) = \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i} \quad (2)$$

这是传统采购报童模型的变形。每个独立供货的供应商会依照自身的库存持有成本和赶工成本来确定最优交货时间  $T_i$ , 交货时间和供应商自身的库存持有成本成正比, 与赶工成本成反比。由此可得当供应商的库存持有成本和赶工成本的比值  $r_i$  最

大时, 其供货时间最晚, 供货时间表示为  $\max F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$ 。可以想象在装配系统中, 如果每一个供应商都选择按照独立供货情况下的供货时间, 则零部件的配齐时间自然为  $b = \max F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$ , 相应的服务水平为  $S = 1 / (1 + \max \gamma_i) [P(b < a)]$ 。

但是在多供应商配套供应的环境下, 供应商的成本将会受到其他供应商的影响。第 3 和第 4 部分会重点分析在考虑其它供应商的影响下, 供应商在信息封闭模式与信息共享模式下对各自交货时间的选择以及供应商成本与服务水平的变化。

### 3 信息封闭模式

在信息封闭的情况下, 每个供应商都无法知道其他供应商准确的交货信息, 因此只能根据历史经验, 通过零部件配齐时间  $b$  和零部件需求时间  $a$  的概率函数来进行成本分析以确定最优的供货时间。在此情况下, 供应商  $i$  的成本将由以下 3 部分组成:

1) 赶工成本  $\beta_i(T_i - a)$ 。这与零部件配齐时间

$b$  无关,一旦供应商供货时间晚于零部件需求时间  $a$  就会产生 ( $T_i > a$ );

2) 库存持有成本  $\alpha_i(a - T_i)$ 。当最终的零部件配齐时间  $b$  早于制造商要货时间  $a$ , 并且供应商提前供货时产生 ( $a > b \& T_i < a$ );

3) 库存持有成本  $\alpha_i(b - T_i)$ 。当最终的零部件配齐时间  $b$  晚于制造商要货时间  $a$ , 且供应商提前供货时产生 ( $a < b \& T_i < b$ );

因此,我们可以得到供应商  $i$  的预期成本为:

$$C_i = \beta_i \int_0^{T_i} (T_i - a) f(a) da + \alpha_i \int_{T_i}^1 \int_0^a (a - T_i) f(a) g(b) da db + \alpha_i \int_{T_i}^1 \int_0^b (b - T_i) f(a) g(b) da db \quad (3)$$

命题一:考虑其他供应商的影响,在信息封闭的情况下,1)所有配套供应商的交货时间都会延迟(相比于独立供货模式),期望成本会增加,对于制造商的服务水平也会下降;2)最晚交货的供应商依然是库存持有成本和赶工成本比值  $\gamma_i$  最大的供应商。

证明:由式(3)可得  $C'(T_i) = \beta_i F(T_i) + \alpha_i F(T_i)G(T_i) - \alpha_i$ ,  $C''(T_i) = \beta_i f(T_i) + \alpha_i f(T_i)G(T_i) + \alpha_i F(T_i)g(T_i)$ 。

易知  $C''(T_i)$  恒大于 0,因此供应商的期望成本是关于供货时间  $T_i$  的凸函数(convex),能够使得总成本最小的供货时间  $T_i$  满足条件:

$$F(T_i) = \frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i G(T_i)} \quad (4)$$

比较式(2)与(4)可知,由于  $0 < G(T_i) < 1$ ,因此每个供应商在信息不共享下的供货时间  $T_i$  相比于独立供货会增大,进而导致整体的服务水平下降。命题一(1)得证。

另一方面,式(4)可以变形为:

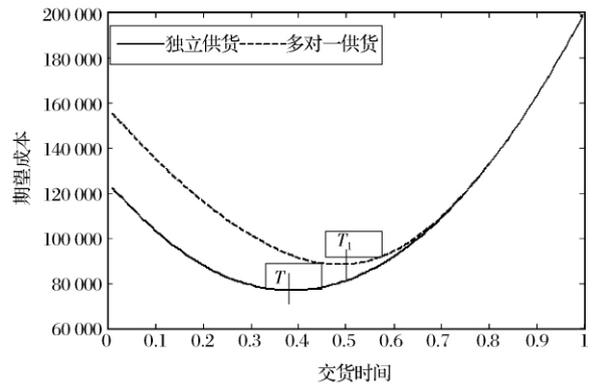
$$\frac{\beta_i}{\alpha_i} = \frac{1 - F(T_i)G(T_i)}{F(T_i)} \Rightarrow \frac{1}{\gamma_i} = \frac{1 - F(T_i)G(T_i)}{F(T_i)}$$

由于存在  $\frac{\partial [ \frac{1 - F(T_i)G(T_i)}{F(T_i)} ]}{\partial T_i} < 0$ ,可得随着

比值  $\gamma_i$  的增大,供货时间  $T_i$  也会变大。因此最终的零部件配齐时间  $b$  由  $\gamma_i$  比值最大的供应商决定。命题得证。

命题一可以解释为,单个供应商在不知道其他供应商交货时间的情况下,无法准确得知零部件的

配齐时间,从而担心由于零部件配齐时间的延迟而增加自身的库存持有成本,因此都会选择推迟交货时间,以减少由于其他供应商晚交货所带来的影响。图 2 表示的是供应商在独立供货模式和多对 1 供货模式(信息封闭)下的成本对比情况。如图可见,相比于独立供货而言,无论供应商选择在何时交货,在信息封闭模式下的期望成本都会增大,最优的供货时间也会延迟。而供货时间越晚,两种情况下的成本差距越小。这可以解释为,越晚供货,供应商受到库存持有成本的影响越小。至此,我们得到了供应商们在信息封闭情况下的供货时间选择,下面将重点分析供应商在信息共享模式下的时间决策。



注:  $\alpha = 0.25, \beta = 0.4, C = 100, Q = 1000, F(a)$  符合  $0-1$  均匀分布,  $G(b)$  符合  $\mu = 0.5, \sigma = 0.125$  正态分布。

图 2 信息封闭下供应商成本变化趋势

### 4 信息共享模式

要实现供应商之间的信息共享,Supply Hub 所起到的功能就不仅仅是一个物流的聚集中心,同时也是信息的集成中心。Supply Hub 会提前将共享的信息准确反馈给各个供应商,以便于各个供应商做出最优的供货时间决策。在这一节我们将证明一定程度的信息共享能够有效帮助供应商做出更好的供货时间决策,首先从单个供应商展开分析。

#### 4.1 供应商 $i$ 的供货时间选择

对于供应商  $i$  而言,如果它能提前知道其它所有供应商中的最晚交货时间(令该时间为  $b_1$ )可以有两种选择,其相应的成本分别为:

1) 供应商  $i$  选择早于时间  $b_1$  交货,即  $T_i < b_1$ , 则最终的货物配齐时间  $b = b_1$  (假定其它供应商不再更改供货时间)。供应商  $i$  的预期成本为:

$$C_i = \alpha_i \int_{b_1}^1 (a - T_i) f(a) da + \alpha_i \int_{0_i}^{b_1} (b_1 - T_i) f(a) da + \beta_i \int_0^{T_i} (T_i - a) f(a) da \quad (5)$$

第一项表示当货物配齐时间  $b_1$  早于制造商需求时间  $a$  时的供应商持有成本,第二项表示当货物配齐时间  $b_1$  晚于需求时间  $a$  时的供应商持有成本,最后一项表示当供货时间  $T_i$  在  $a$ 、 $b_1$  之间时产生的赶工成本。

2) 供应商  $i$  选择晚于其它供应商的最晚交货时间交货,即  $T_i > b_1$ , 则最终零部件的配齐时间为  $T_i$ 。此时供应商  $i$  不会受到其他的供应商的影响。其预期成本为:

$$C_i = \beta_i \int_0^{T_i} (T_i - a) f(a) da + \alpha_i \int_{T_i}^1 (a - T_i) f(a) da \quad (6)$$

这与独立供货模式下的(1)式相同,表明如果供应商  $i$  是最晚交货的一个,其成本函数不会受到其他供应商的影响。

命题二:对于供应商  $i$  而言,1)若它发现其他供应商中的最晚交货时间  $b_1$  已经早于他在独立供货情况下的交货时间  $F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i})$ , 他会选择按照时间  $F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i})$  交货;2)若发现其它供应商中的最晚交货时间  $b_1$  晚于他在独立供货情况下的交货时间,那么就会选择延迟自己的供货时间。但是最晚也不会超过其他供应商的最晚交货时间  $b_1$ 。

证明:在第一种情况下(供应商  $i$  想早于时间  $b_1$  交货),根据式(5),通过对时间  $T_i$  一阶求导可得  $C'(T_i) = \beta_i F(T_i) - \alpha_i$ , 二阶导数  $C''(T_i) = \beta_i f(T_i) > 0$ , 从而得到供应商成本是关于交货时间  $T_i$  的凸函数。不妨令满足  $C'(T_i) = 0$  的  $T_i$  为  $T_i^1, T_i^1 = F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i})$ 。如果存在  $T_i^1 > b_1$ , 则按照前提条件  $T_i \leq b_1, T_i^1$  取不到。根据凸函数性质,可以得到能够使得期望成本  $C_i$  最小的供货时间应该为  $T_i = b_1$ 。若  $F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i}) < b_1$ , 则最优的供货时间自然是  $T_i^1$ 。

在第二种情况下(供应商  $i$  想晚于时间  $b_1$  交货),根据式(6),容易得出对于  $T_i$  应该满足(2)式,即  $T_i = F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i})$ 。不妨也令此时满足条件的  $T_i$  为  $T_i^2$ 。由于  $C''(T_i) = (\alpha_i + \beta_i) f(a)$  恒大于 0, 可

得供应商成本  $C_i$  仍然是关于供货时间  $T_i$  的凸函数。与前面的分析类似,如果存在  $T_i^2$  小于  $b_1$ , 根据凸函数的性质和假设条件  $T_i > b_1$ , 易知能够使成本最低的供货时间  $T_i$  应该等于  $b_1$ 。反之,最优的供货时间应该为  $T_i^2$ 。

综合上述两种情况,存在  $F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i}) > F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i})$ , 即  $T_i^1 > T_i^2$ , 可得当供应商  $i$  在了解其他供应商的最晚交货时间  $b_1$  的情况下,欲使预期成本最小,最优交货时间应该满足式(7)。命题得证。

$$\begin{cases} \text{当 } b_1 < F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i}), T_i = T_i^2 = F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i}); \\ \text{当 } F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i}) < b_1 < F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i}), T_i = b_1; \\ \text{当 } F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i}) < b_1, T_i = T_i^1 = F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i}) \end{cases} \quad (7)$$

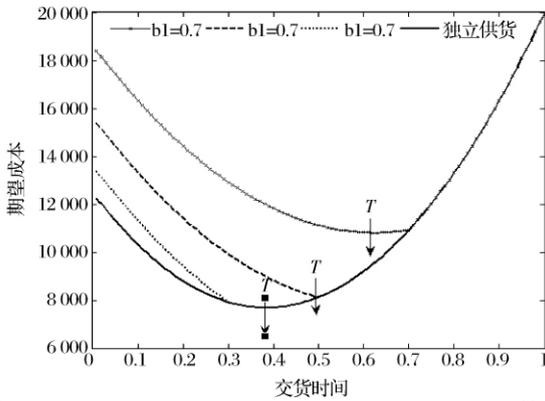
由此可见当供应商  $i$  在掌握其他供应商的交货时间之后能够更好的确定自身的供货时间。即使选择了延迟供货(当供应商中的最晚交货时间晚于自身独立供货时的交货时间),也不会晚于其他供应商中的最晚交货时间。图 3 显示的是供应商在 3 个不同的  $b_1$  (其他供应商最晚交货时间)下期望成本的变化情况。可以看出供应商选择在最晚交货时间  $b_1$  之前和之后交货,其成本函数是不同的。根据数据假设,供应商  $i$  的独立交货时间  $F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i})$  应该

为 0.38,  $F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i}) = 0.625$ 。如果其它供应商中的最晚交货时间为 0.3(0.3 < 0.38), 则它会按照自身的独立供货时间交货;如果最晚交货时间为 0.5, 供应商选择按照 0.5 交货(0.38 < 0.5 < 0.625);若最晚交货时间为 0.7(0.7 > 0.625), 供应商选择按照 0.625 交货。

#### 4.2 信息共享下的供应商供货策略

根据第 3 部分的分析,所有的供应商都会在信息不共享的情况下延迟自身的供货时间,从而会降低对于制造商的服务水平。但是在信息共享的模式下,有些供应商则并不会去延迟供货时间。

命题三:在信息共享的情况下,系统中零部件的配齐时间等于比例系数  $\gamma_i$  最大的供应商在独立供货条件下的交货时间。相比于信息封闭模式,对于制造商的服务水平将会上升。



注： $\alpha = 0.25$ ， $\beta = 0.4$ ， $C = 100$ ， $Q = 1000$ ， $F(a)$  符合  $0-1$  均匀分布，三种不同的其他供应商最晚交货时间  $b_1 = 0.3, 0.5, 0.7$ 。

图 3 信息共享下的供应商成本变化趋势

证明：假定比值系数  $\gamma_i$  最大的供应商直接将其在独立供货下的交货时间  $\max F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$  作为自己最终的供货时间（令该时间为  $T_{\max} = \max F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$ ），并提前给出。那么，对该供应商而言最好的情况是其他所有供应商的交货时间都不会晚于他。之于其他供应商，此时市场上已存的最晚交货时间为  $b_1 = \max F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$ 。由于任何一个供应商的独立供货时间  $F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$  都小于已知的供货时间  $T_{\max}$ ，根据式(7)，供应商会选择延迟交

货时间，要么延迟到  $F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i})$  要么选择时间  $T_{\max}$ ，但没有任何一个供应商的供货时间会晚于时间  $T_{\max}$ 。因此对于提前给出交货时间的供应商（比值系数  $\gamma_i$  最大的供应商）而言，他的供货时间并没有受到影响。最终供应商们的整体交货时间依然是  $b = \max F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$ ，对制造商的准时交货概率为  $\alpha = 1 - \max(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$ 。这与每个供应商单独供货所得到的结果相同。命题得证。

作为信息集成中心的 Supply Hub，此时可以提前将比例系数  $\gamma_i$  最大的供应商在独立供货下的交货时间  $\max F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$  作为零部件的配齐时间，并将这一信息发布给所有的供应商，让各个供应商在这个基础上确定供货时间，从而就保证了在制造商的服务水平不受影响的前提下，使各个供应商的期望成本最低。实际上，根据命题三，如果 Supply Hub 仅仅将整个供应商系统中最大的库存成本与赶工成本比例系数  $\max \gamma_i$  提前告诉给每个供应商，同样可以达到效果，而不必要求比例系数最大的供应商提前做出决策。这可以解释所有供应商的交货时间都是由持有成本和赶工成本决定，一旦成本信息得到了共享，那么所有供应商都能够明确在个系统中可能会出现的最晚交货时间，从而能够准确地做出最优的时间决策。

表 1 不同模式下供应商的成本比

各供应商成本比例系数 $\gamma_i$	信息不共享		信息共享		独立供货	
	期望成本	交货时间	期望成本	交货时间	期望成本	交货时间
0.9	25829	0.56	23685	0.47	23685	0.47
0.85	25244	0.55	22983	0.47	22973	0.46
0.8	24625	0.54	22281	0.47	22224	0.44
0.75	23964	0.52	21579	0.47	21429	0.43
0.7	23255	0.51	20876	0.47	20589	0.41
0.65	22498	0.49	20174	0.47	19698	0.39
0.6	21674	0.48	19472	0.47	18752	0.38
0.55	20778	0.46	18770	0.47	17744	0.35
0.5	19795	0.43	18067	0.47	16668	0.33
0.45	18701	0.41	17345	0.45	15517	0.31
0.4	17477	0.38	16418	0.4	14287	0.29
0.35	16088	0.34	15241	0.35	12963	0.26
0.3	14506	0.3	13813	0.3	11539	0.23

表 1 和图 4、图 5 显示的是通过信息共享能够给供应商成本和制造商服务水平带来的变化。与图 2、3 中的假设相似，制造商的要货时间符合  $F(a)$  符

合  $0-1$  的均匀分布。配套供应商中最晚交货时间  $b$  的分布函数  $G(b)$  符合均值为  $0.5$ ，标准差为  $0.125$  的正态分布。为便于比较，我们假定存在多

个供应商,其成本比例系数  $\gamma_i$  均不相等,但是假定他们的赶工成本  $\beta_i$  均为 1。每个供应商的生产数量  $Q$  为 1000 个,单位成本  $C$  为 100。可以看到,相比于信息封闭下的供应商成本,通过信息共享能够有效降低成本(图 4)。其中当成本比例系数  $\gamma_i$  位于中间段时(0.75-0.55)的供应商效果最为明显,达到 10% 以上。比例系数越高或越低的供应商其成本降低的效果而并不明显(0.3 时压缩的成本为 5%)。这可以解释为,如果比例系数太高,供应商再往后推迟交货时间的长度就会比较短,从而增大的赶工成本不多。如果比例系数较低,则由于信息不共享所带来的库存持有成本总量较小。而通过对比供应商在独立供货和信息共享下的成本(图 5),可以发现,供应商的比例系数越高,信息共享模式中增大的成本越少。这是由于在信息共享模式下的货物配齐时间是由比例系数最大的供应商所决定的。成本系数越高,越接近这个货物配齐时间,从而增大的成本也越少。

### 5 Supply Hub 主导模式

根据第四节的结论,通过在供应商之间共享信息的确可以提高对于制造商的响应速度以及降低每个供应商的成本。但是这当中存在 3 个问题,1) 将供应商的信息公开是否会受到众多供应商的抵触。2) 通过这一方式获利最大的无疑是比值系数最大的供应商,而其他供应商则受到了一定程度上的损失(相比于独立供货,如图 4 所示)。3) 单纯依靠供应商做出的决策不一定能够使整个供应链系统的成本达到最低,同时对于制造商的服务水平也存在提升的空间。因此,如果要是实现供应商之间的协同运作就必须保证在供应链体系中存在一个主导者来组织供应商之间进行有效的沟通与交流。而在本节中将简要讨论如果由 Supply Hub 来设定交货时间对于供应链系统的影响情况。

Supply Hub 作为装配系统的主导者,能够掌握所有供应商的持有成本和赶工成本,而由它来设定供应商交货时间的目的在于:1) 降低整个供应商系统的成本;2) 在此基础上提高对于制造商的服务水平。在本节中我们假定 Supply Hub 有且仅有权利设定系统的零部件配齐时间  $b$ , 供应商可以选择早于时间  $b$  交货,但是不能延迟,假定延迟后受到的惩罚极大。对于时间  $b$  而言,很显然  $b$  一定要小于 4.2 中的货物配齐时间  $\max F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$ , 否则  $b$  无法起到降低成本的作用甚至还会使得所有供应商的成本进一步增加,包括系数  $\gamma_i$  最大的供应商。因此,  $b < \max F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$ 。对于其他的供应商而言,此时的期望成本函数和式(5)相似,唯一的区别在于  $b_1$  变成了  $b$ 。供应商的期望成本为

$$C_i = \alpha_i \int_B^1 (a - T_i) f(a) da + \alpha_i \int_0^B (B - T_i) f(a) da + \beta_i \int_0^{T_i} (T_i - a) f(a) da \quad (8)$$

和命题二的结论相似,如果  $F(b) > \frac{\alpha_i}{\beta_i}$ , 供应商  $i$  会选择时间  $F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i})$  交货,若  $F(b) < \frac{\alpha_i}{\beta_i}$ , 供应商会选择时间  $b$  交货。当供应商选择早于 Supply Hub 规定的时间  $b$  交货时,通过对其成本函数(式 8)求关于  $b$  的导数可得:  $C'(b) = \alpha_i F(b) > 0$ , 这表明这类供应商希望进一步压缩最晚交货时间。当供

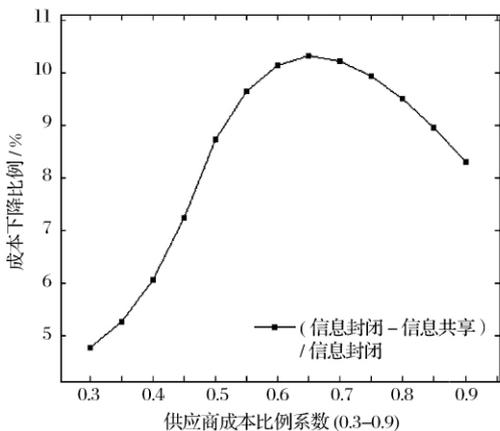


图 4 信息共享 vs 信息封闭(供应商成本)

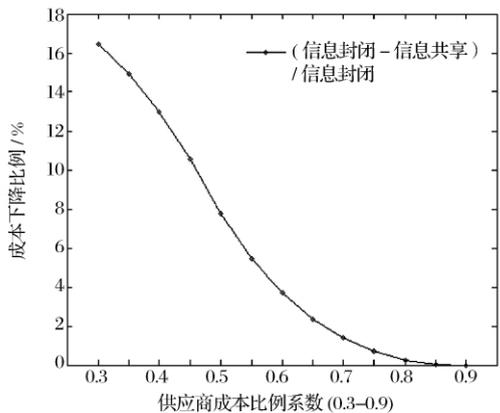


图 5 信息共享 vs 独立供货(供应商成本)

应商选择按照时间  $b$  交货时,此时可能存在 2 种情况:1)  $\frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i} < F(b) < \frac{\alpha_i}{\beta_i}$ ; 2)  $F(b) < \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i}$ 。但无论在哪种情况,供应商的成本函数都是

$$C_i = \alpha_i \int_b^1 (a - b) f(a) da + \beta_i \int_0^b (b - a) f(a) da$$

通过对  $b$  求导可得:  $C'(b) = (\alpha_i + \beta_i)F(b) - \alpha_i$ ,这就表明第一种情况下的供应商希望压缩要求交货时间  $b$ ,而第二类则希望增大要求交货时间  $b$ 。

根据以上分析,Supply Hub 对于时间  $b$  的设定一定会大于比例系数  $\gamma_i$  最小的供应商的独立供货时间( $\min F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$ )而小于比例系数  $\gamma_i$  最大的

供应商的独立供货时间( $\min F^{-1}(\frac{\alpha_i}{\beta_i + \alpha_i})$ )。时间  $b$  越小,对于成本比例系数越小的供应商越有利,反之则正好相反。

因此,通过 Supply Hub 来设定交货期能够获得更低的供应商总成本和更高的服务水平。但是值得注意的是,如果由供应商来决定交货时间的话,只需要掌握供应商的成本比例系数  $\gamma_i$  就足够,但如果由 Supply Hub 来确定的话,除了库存持有成本和赶工成本之外,还必须考虑到每个供应商的供货数量和供货的价格。而本文中就不再作进一步的讨论了。

## 6 结语

本文建立了多个配套供应商对单制造商的单周期准时供货模型。在制造商需求时间不确定的情况下,供应商们以自身利益为导向确定各自的最优交货时间。通过对比供应商在信息不共享和信息共享下所采用的交货时间策略,证明了通过供应商之间的协作能够有效提高服务水平并降低各个供应商的成本。通过数据模拟进一步分析了供应商库存持有成本与赶工成本对于制造商服务水平和供应商预期成本的影响。从而找到了多个供应商在信息共享下的最优交货时间策略,并简要提出了一种基于 Supply Hub 主导的最优交货时间策略。本文的研究重点是讨论基于 Supply Hub 模式下的供应商横向协同问题,因此对各个供应商的成本分析主要考虑的是供应商供货不匹配的影响因素。对于制造商在准时供货过程中如何与多个配套供应商进行更好地协调,例如采用一定的激励和惩罚措施来提高整体绩效的问题,可以留在今后作更深入的探讨。

## 参考文献:

[1] Djankov, S., Freund, C., Pham, C. S.. Trading on time [J]. The Review of Economics and statistics, 2010, 92 (1): 166-173.

[2] Iyer, A. V., Bergen, M. E.. Quick response in manufacturer-retailer channels [J]. Management Science, 1997, 43 (4): 559-570.

[3] Grout, J. R., Christy, D. P.. A model of incentive contracts for just-in-time delivery [J]. European Journal of Operational Research, 1996, 96: 139-147.

[4] Guirida, A. L., Nagi, R.. Cost characterizations of supply chain delivery performance [J]. International Journal of Production Economics, 2006, 102: 22-36.

[5] 杨文胜, 李莉. 基于 Stackelberg 模型的准时交货激励契约分析[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 12(3): 17-23.

[6] 王玉燕, 申亮, 李帮义. 几种不同的准时交货博弈模型研究[J]. 管理评论, 2007, 19(2): 57-62.

[7] Pyke, D., Robb, D., Farel, Y. J.. Manufacturing and supply chain management in China: a survey of state, collective, and privately owned enterprises[J]. European Management Journal, 2000, 18(6): 577-589.

[8] Gurnani, H., Gerchak, Y.. Coordination in decentralized assembly systems with uncertain component yields[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 3(1): 1559-1576.

[9] 徐进, 石琴, 凌六一. 多供应商准时制惩罚机制与激励机制研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(11): 1876-1880.

[10] Tang, O., Grubbstrom, R. W.. The detailed coordination problem in a two-level assembly system with stochastic lead times [J]. International Journal of Production Economics, 2006, 81-82: 415-429.

[11] Barnes, E. et al. On the strategy of supply hubs for cost reduction and responsiveness [R]. The Logistics Institute - Asia Pacific Report, Georgia Institute of Technology and National University of Singapore, 2000.

[12] Janat, S., Mark, G.. Setting operating policies for supply hubs [J]. International Journal of Production Economics, 2006, 100: 239-252.

[13] 王琰. 供应链环境下集配商供应模式的探讨[J]. 管理评论, 2005, 17(2): 33-36.

[14] 龚凤美, 马士华. 基于 supply hub 的第三方物流直送工位模式研究[J]. 工业技术经济, 2007, 26(8): 124-127.

[15] 桂华明, 马士华. Supplyhub 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.

## Research on Multi-suppliers' On-time Delivery Model in Context of Stochastic Demand Time

GUAN Xu, MA Shi-hua, ZHOU Qi-chao

(School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** This paper studies at the single period on-time delivery model of multi-suppliers, which is based on the Supply Hub. Under the stochastic demand time, suppliers choose the optimal delivery time by themselves in purpose of cost minimization. This paper analyzes the optimal delivery time of different suppliers in the situation of information sharing and information isolation. By comparing the effect of optimal delivery time at the cost of suppliers and service level to manufacturer, We demonstrate that it could effective reduce the cost and improve the service level when suppliers adopte cooperation. We find out the optimal delivery policy of suppliers in context of information sharing and also a policy raised by Supply Hub.

**Key words:** complementary supply; stochastic demand time; Supply Hub; information sharing; service level

### 《第十三届中国管理科学学术年会》征文通知

**会议主题** 统筹优选与经济转型

**主办单位** 中国优选法统筹法与经济数学研究会  
中国科学院科技政策与管理科学研究所  
《中国管理科学》编辑部

**承办单位** 浙江理工大学 浙江农林大学

**协办单位** 浙江省应用数学研究会 浙江大学等

**会议时间** 2011 年 10 月

**会议地点** 杭州

<b>征文范围</b>	优选、统筹的理论与实践 金融与经济管理 能源与环境管理 供应链与物流 生产与服务管理 人力资源管理	中小企业决策优化与评价 项目与风险管理 突发事件应急管理 安全生产与公共安全管理 数据挖掘与知识管理 复杂系统管理的理论与实践
-------------	--	--

**专题报告** 届时邀请管理科学界著名专家和学者围绕我国社会经济发展面临的主要问题做大会学术报告。

**征稿要求**

- 未在其它学术会议、论文集和刊物上公开发表过。
- 文章具体格式可参照《中国管理科学》近期期刊。
- 来稿篇幅要求 5—8 页(5 页以内版面费 600 元,超过 5 页每增加一页加收版面费 150 元)。
- 请作者于 2011 年 7 月 15 日之前按下列 E-mail 地址将电子版传给会议秘书处。在稿件首页须注明征文类别(从征文范围中选择一个接近的类别填写)。
- 来稿请注明作者的单位、通讯地址、邮编、联系电话及 E-mail 地址,并在邮件标题上注明“征文”字样。

**论文出版**

- 经过专家评审后录用的论文刊登在《中国管理科学》2011 年(专辑)上,并被 CNKI 数字图书馆全文收录(www.cnki.net)。
- 第十三届中国管理科学学术年会将继续开展“优秀论文报告奖”的评奖活动,并颁发获奖证书。其中获年会分组会议评议推荐的论文(推荐比例为 20—30%),将由《中国管理科学》(正刊)优先录用列入 2012 年 1—3 期的刊登计划。
- 论文录用通知将在 2011 年 8 月 15 日前发出。《中国管理科学》2011(专辑)在会议结束后 30 日内出版(会前印刷所有录用论文的长摘要并提供全文光盘)。

会议具体情况请登陆中国优选法统筹法与经济数学研究会网站(www.scope.org.cn)及中国管理科学网站(www.zggikx.com)。

**会议秘书处**

北京 8712 信箱中国“双法”研究会  
E-mail:shuangfa@mail.casipm.ac.cn

傅继良 张玲 邮编:100190  
联系电话:010-62542629