

大规模定制下纺织服装供应链订单决策优化

陈筱娣, 舒晨, 周兴建*, 黄少南

(武汉纺织大学 管理学院, 湖北 武汉 430073)

摘要: 在大规模定制环境下, 纺织服装供应链成员间通过协作对客户订单进行决策及处理。考虑到纺织服装供应链采用模块化与定制化相结合(MTS+MTO)的生产方式, 通过对纺织服装生产企业和供应商的利润函数分析, 基于Nash均衡建立非合作策略下的纺织服装供应链订单决策一般模型。在此基础上, 讨论纺织服装供应链成员间协商合作的情形对订单决策进行Pareto优化。分析表明, 通过订单决策优化可确定最优定价和最佳交货期, 在满足客户需求的同时为纺织服装供应链企业带来最大化利润。

关键词: 纺织服装; 大规模定制; 订单决策; Pareto优化

中图分类号: C93; F253.4

文献标识码: A

文章编号: 2095-414X(2016)02-0003-05

随着消费者对纺织服装及服饰品的需求呈现多样化、个性化、定制化等特点, 纺织服装企业需要快速的设计、生产和销售, 最大限度的缩短前置期和交货期。如, H&M 把消费者所钟情的时尚服装、流行服饰视为容易腐坏的食品, 必须时时保持它的新鲜, 为了达到这种效率, H&M 与供应商间密切合作, 严格控制纺织服装供应链的全程, 从接受客户订单开始, 到款式设计, 直至上架销售全流程的订单处理时间压缩至最短只需三个星期^[1], 以确保能够及时满足消费者的要求。

对于纺织服装业而言, 随着市场竞争的加剧, 交货期以及价格越来越成为供应链上的有力竞争因素。目前在交货期的理论研究方面, 陈杰等^[2]建立了以库存总成本最小为目标的供应链订单决策优化模型, 并研究了如何确定订单的承诺交货期; 林勇等^[3]建立了基于生产能力的订单定价和交货期决策模型, 分析了生产企业如何在价格和交货期之间作出权衡; 赵明等^[4]基于对订单价格和交货期敏感的需求, 构建了Stackelberg下和收益共享两种订单决策模型。现有文献主要集中于对供应链上下游成员相互独立环境下的订单交货期问题研究, 但对供应链成员间相互博弈的情形, 尤其是大规模定制下如何进行订单决策及确定最佳交货期的研究鲜有涉及。

在大规模定制化需求下, 纺织服装企业一般采取模块化^[5]基础部件与定制化特色部件相结合的生产工艺, 即MTO(Make to Order, 按订单生产)+MTS(Make to Stock, 按库存生产), 以兼顾生产成本、库存成本和交付时间之间的效益悖反^[6]。这就要求纺织服装供应链上生产企业要与各供应商之间进行协作, 在实现供应链总利润最优并进行供应链成员间合理利润分配的基础上^[7], 制定合理的订单决策, 在最佳交货期内将纺织服装成品交付客户。因此, 本文从纺织服装供应链成员间博弈的角度, 研究订单决策过程中交货期对供应链成员利润的影响, 以及订单定价和交货期策略。

一、问题描述与假设

纺织服装供应链接受客户的定制化订单后, 基于利润最大化进行订单决策。对生产企业而言, 由于其生产的纺织服装品采取“MTO+MTS”的方式, 故在订单决策过程中, 需要考虑对客户的交货期与供应商的原料交货期, 同时还需要考虑自身的生产资源和生产能力限制。这一供应链订单决策构成如图1所示。

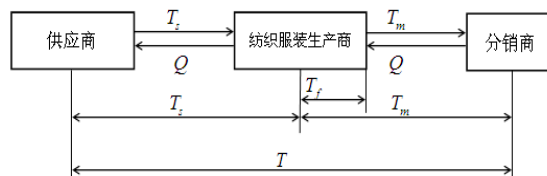


图1 纺织服装供应链订单决策构成示意图

*通讯作者: 周兴建(1979-), 男, 讲师, 博士, 研究方向: 纺织服装物流与供应链、系统仿真与优化。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71171152); 武汉纺织大学大学生创新创业项目(2015)。

为描述方便, 设纺织服装供应链上生产企业有单一供应商, 单周期下由供应商将加工好的服饰、辅料等供应给生产企业进行加工组配。如果供应商或生产企业提前完成订单, 需承担因提前交付而产生的纺织服装品库存费用; 当供应商推迟完成订单, 则需支付因延迟而产生的惩罚费用。设纺织服装供应链成本(包括供应商原料库存成本和延迟成本、供应商交付延迟惩罚成本)是关于时间的线性函数, 同时, 生产企业对原料的订货量 Q 是关于交货期 T 和价格 P 的线性函数, 即 $Q(P, T) = A - B_1P - B_2T$ 。设纺织服装生产企业原材料(包括模块化与定制化部分)的单位变动成本(生产成本及采购成本之和)是模块化程度 ρ 和单位生产成本 c_i 以及单位采购成本 c_j 的函数(M_g 表示单位模块), 即为:

$$C(p, c_i, c_j) = \sum_{g \in G} \sum_{j=1}^{i=1} (pM_g(c_i + c_j) + (1-p)(c_i + c_j)) \quad (1)$$

由于客户定制化订单对交货期、定价存在多种不确定性, 因此供应商的实际交货期 t 为随机变量。设 t 服从 $[T_e, T_l]$ 上的均匀分布, 则其密度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{T_l - T_e}, & T_e \leq t < T_l \\ 0, & t \leq T_e, t \geq T_l \end{cases} \quad (2)$$

同时, 文中涉及到的符号及含义如表 1 所示。

表 1 文中符号及含义

符号	含义	符号	含义
π_m	纺织服装生产企业的期望收益	Q	定制化订单量, 与交货期呈线性关系
π_s	供应商的期望收益	v	供应商延迟交货导致的单位库存持有成本
T_s	供应商承诺交货期	α	供应商的单位原料在单位时间内的库存持有成本
T_m	纺织服装生产企业承诺交货期	β	供应商单位原料在单位时间内的延迟惩罚成本
t	纺织服装生产企业实际交货期	ρ	纺织服装品的模块化程度
c_m	单位产品变动成本之和	k	单位时间内的延迟惩罚成本
c_s	供应商单位原料变动成本之和	f_m	纺织服装生产企业的固定成本
		f_s	供应商的固定成本

二、纺织服装供应链利润分析

(一) 生产利润函数

生产企业接收到供应商的模块化部件供货后开始生产, 其中, 生产固定成本为定制化部件的原料库存成本, 生产变动成本为定制化部件完成后所占用的库存成本。据此, 生产企业利润函数为:

$$\pi_m = \left\{ \begin{aligned} & [P_m - P_s + \beta \int_{T_s}^{T_l} (t - T_s) f(t) dt - k \int_{T_m}^{T_l} (t - T_m) f(t) dt] \\ & - v \int_{T_m}^{T_l} (t - T_m) f(t) dt - c_m] (A - B_1P_m - B_2T_m) - f_m \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

生产企业的利润函数为客户订单的销售收入减去各项成本, 包括生产该订单的单位模块部件成本, 供应商延迟交货而收到的罚金成本, 供应商延迟交货导致生产企业延迟交货的惩罚成本, 供应商延迟交货导致的库存成本, 单位纺织服装品的变动成本, 以及生产固定成本。

(二) 供应商的利润函数

与生产成本组成类似, 供应商的成本主要为提前完成订单的库存成本、受到生产商的惩罚成本、单位模块的变动成本以及固定成本。供应商利润函数为:

$$\pi_s = (P_s - \alpha \int_{T_e}^{T_s} (T_s - t) f(t) dt - \beta \int_{T_s}^{T_l} (t - T_s) f(t) dt - c_s) (A - B_1P_m - B_2T_m) - f_s \quad (4)$$

三、纺织服装供应链订单决策基本模型

在 Nash 均衡条件下^[8], 纺织服装供应链上的供应商和生产企业在信息透明的情况下选择非合作博弈, 作为不同的利益主体追求各自利润的最大化, 即在个体达到自身利润最大时不会选择改变此状态。为此, 假设纺织服装生产企业在交货期 T_m 不变的情况下选择改变其定价 P_m 来追求其最大利润, 生产企业在其定价 P_s 不

变的情况下选择改变交货期 T_s 来追求其最优利润。在此基础上建立纺织服装供应链订单决策基本模型, 研究非合作策略下纺织服装供应链订单决策策略, 即供应链成员各自最优的定制化订单定价 p_m 和交货期 T_s 。

(一) 纺织服装生产企业的定价策略

对于生产企业而言, 将交货期 T_m 看作一个常量, 对利润 π_m 求 p_m 的一阶和二阶偏导, 得到:

$$\frac{\partial \pi_m}{\partial p_m} = A - B_1 p_m - B_2 T_m - B_1 (p_m - p_s - c_m + (\beta - k - v) \int_{T_s}^{T_l} (t - T_s) f(t) d_t) \quad (5)$$

因 $\frac{\partial^2 \pi_m}{\partial p_m^2} = -2B_1 < 0$, 故该函数曲线是关于 p_m 的凹函数, 有最大值。令 $\frac{\partial \pi_m}{\partial p_m} = 0$, 得到此时存在最优解:

$$p_m = p_m^* = \frac{A}{B} - \frac{B_2}{B_1} T_m - \frac{1}{2} (\beta - k - v) \int_{T_s}^{T_l} (t - T_s) f(t) d_t - p_s - c_m \quad (6)$$

(二) 供应商的交货期策略

对于供应商而言, 在非合作状态下设供应商的订单量只与生产企业有关。将定价 p_s 看作一个常量, 对变量 p_s 求一阶和二阶偏导。得到:

$$\frac{\partial \pi_s}{\partial T_s} = (-\alpha F(T_s) - \beta F(T_s) - \beta) Q \quad (7)$$

因 $\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial T_s^2} = -(\alpha + \beta) f(t) Q < 0$, 该函数是关于 T_s 的凹函数, 有最大值。令 $\frac{\partial \pi_s}{\partial T_s} = 0$, 得到此时最优解:

$$T_s = T_s^* = \frac{\alpha T_e + \beta T_l}{\alpha + \beta} = F^{-1} \left(\frac{\beta}{\alpha + \beta} \right) \quad (8)$$

式(6)和式(8)联立, 可以求得满足 Nash 均衡的供应链成员各自的最大利润 π_m 和 π_s 。设此时纺织服装生产企业最大利润为 π_m^* , 供应商最大利润为 π_s^* , 即:

$$\pi_s^* = \left\{ - \left(\frac{1}{2} B_1 (p_s + c_m + w - m + u) - \frac{A}{2} + \frac{B_2 T_l + \alpha T_e}{2(\alpha + \beta)} \right) \right. \\ \left. \cdot (p_s - c_s - m - n) \right\} \quad (9)$$

$$\pi_m^* = \left\{ \left(\frac{1}{2} B_1 (p_s + c_m + w - m + u) - \frac{A}{2} + \frac{B_2 T_l + \alpha T_e}{2(\alpha + \beta)} \right) \right. \\ \left. \cdot \left(p_s + c_m - \frac{1}{2B_1} [A + B_1 (p_s + c_m + w - m + u)] - \frac{w(k - \beta + v)}{k} \right) \right\} \quad (10)$$

四、纺织服装供应链订单决策 Pareto 优化

在上述基本模型的基础上, 考虑到纺织服装供应链上生产企业与供应商处于均势, 两者可以通过协商的方式达到 Pareto 最优^[9], 在这种情形下, 纺织服装生产企业和供应商协商的承诺交货期为 π_s , 并满足 Nash 谈判公理:

$$\max .\Omega = (\pi_m - \pi_m^d)(\pi_s - \pi_s^d) \quad (11)$$

式(11)中的 π_s^d 和 π_m^d 分别代表谈判破裂时供应商和生产企业的损失, 两者的利润威胁点分别是 $\pi_s^d = -f_s$ 和 $\pi_m^d = -f_m$ 。此时有:

$$\max .\Omega = \left\{ \left[p_s - \alpha \int_{T_e}^{T_s} (T - t) f(t) d_t - \beta \int_{T_s}^{T_l} (t - T_s) f(t) d_t - c_s \right] \right. \\ \left. \cdot \left(A - B_1 p_m - B_2 T_m \right)^2 [p_m - p_s + \beta \int_{T_s}^{T_l} (t - T_s) f(t) d_t - k \int_{T_m}^{T_l} (t - T_m) f(t) d_t - v \int_{T_m}^{T_l} (t - T_m) f(t) d_t - c_m] \right\} \quad (12)$$

(一) 供应商交货期策略

设客户订单需求量 $Q = A - B_1 p_m - B_2 T_m$ 在达到 Pareto 稳定状态时保持不变, 即有 $y = g(t) = \int_{T_s}^{T_l} (t - T_s) f(t) d_t$,

此时, $\int_{T_e}^{T_s} (T_s - t) f(t) d_t = \frac{T_l^2 - T_e T_l}{2(T_l - T_e)} - \frac{T_l g(t)}{T_e}$, 故有:

$$\max \Omega = f(y) = \begin{cases} \left(P_s - \alpha \left(\frac{T_l^2 - T_e T_l}{2(T_l - T_e)} - \frac{T_l y}{T_e} \right) - \beta y - c_s \right) \\ \cdot (P_m - P_s + \beta y - ky - vy - c_m) Q^2 \end{cases} \quad (13)$$

对 y 进行微分, 得到:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial y} = \begin{cases} Q^2 \left(-\frac{1}{e} - \beta \right) (P_m - P_s + (\beta - k - v)y - c_m) + \\ Q^2 \left(P_s - \frac{\alpha(T_l^2 - T_e T_l)}{2(T_l - T_e)} - \frac{T_l y}{T_e} - \beta y - c_s \right) (\beta - k - v) \end{cases} \quad (14)$$

当 $\frac{\partial \Omega}{\partial y} > 0$ 时, 存在 $y > y^*$, 令 $\frac{\partial \Omega}{\partial y} = 0$, 得到:

$$y^* = \begin{cases} \frac{1}{4(-\alpha T_l + \beta T_e)(-\beta + k + v)} [2\alpha T_l(-P_m + P_s + c_m) + 2\beta T_e \\ \cdot (P_m - 2P_s - c_m) + 2P_s T_e(k + v) + (\alpha T_e T_l + 2T_e c_s)(\beta - k - v)] \end{cases} \quad (15)$$

即 $f(y)$ 在 $y \in (-\infty, y^*)$ 上单调递减, $y \in (y^*, +\infty)$ 上单调递增。而对于 $y = g(t) = \frac{(T_l - T_s)^2}{2(T_l - T_e)}$, 易知 $g(t)$ 在 $T_s \in (T_e, T_l)$ 上为单调递减函数。为方便比较, 设单位惩罚成本大于单位库存成本, 且生产企业的半成品库存成本小于供应商的惩罚成本, 生产企业的单位变动成本大于供应商的单位变动成本。那么:
 $g(T_e) > y^* > g(T_l)$, 且存在 T_s^* 使得 $g(T_s^*) = y^*$, $y^* \in (T_e, T_l)$ 。由复合函数的性质可得, $f(t)$ 在 $T_s \in (T_e, T_s^*)$ 上单调递减, 在 $T_s \in (T_s^*, T_l)$ 上单调递增。

(二) 纺织服装生产企业的定价策略

对 P_m 进行微分:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial P_m} = \begin{cases} -2B(A - B_1 P_m - B_2 T_m) \left(P_s - \alpha \left(\frac{T_l^2 - T_e T_l}{2(T_l - T_e)} - \frac{T_l y}{T_e} \right) - \beta y - c_s \right) \\ (P_m - P_s + \beta y - ky - vy - c_m) + (A - B_1 P_m - B_2 T_m)^2 \\ \left(P_s - \alpha \left(\frac{T_l^2 - T_e T_l}{2(T_l - T_e)} - \frac{T_l y}{T_e} \right) - \beta y - c_s \right) \end{cases} \quad (16)$$

$$\frac{\partial^2 \Omega}{\partial P_m^2} = \begin{cases} 2B_1^2 \left(P_s - \alpha \left(\frac{T_l^2 - T_e T_l}{2(T_l - T_e)} - \frac{T_l y}{T_e} \right) - \beta y - c_s \right) \\ (P_m - P_s + \beta y - ky - vy - c_m) - 4B_1(A - B_1 P_m - B_2 T_m) \\ \cdot \left(P_s - \alpha \left(\frac{T_l^2 - T_e T_l}{2(T_l - T_e)} - \frac{T_l y}{T_e} \right) - \beta y - c_s \right) \end{cases} \quad (17)$$

存在 P_m 使得 $\max \Omega$, 此时:

$$P_m^* = \frac{1}{3B_1} (2B_1 P_s - 2B_1 \beta y + 2B_1 ky + 2B_1 vy + 2B_1 c_m + A - B_2 T_s) \quad (18)$$

联立式(15)和(18), 得到承诺交货期 T_s :

$$P_m^* = \begin{cases} \frac{1}{4B_1(-\alpha T_l + \beta T_e)} (-\alpha k B_1 + 2k B_1 T_e T_l - \alpha v B_1 T_e T_l) \\ -2\alpha B_1 T_l c_m + 2\beta B_1 T_e c_m + 2v B_1 T_e P_s - 2\alpha A T_l + \\ 2\alpha B_2 T_l T_s - 2\beta B_2 T_e T_s - 2v B_1 T_e c_s + 2\beta B_1 T_e c_s \\ + 2\alpha \beta T_e - 2\alpha B_1 T_l P_s \end{cases} \quad (19)$$

对比优化前后的最优解 T_s 和 P_m 的大小变化, 将 $T_s = T_s^*$ 代入 $g(t)$ 得到 $g(T_s^*)$, 此时:

$$\square g(T_s) = \begin{cases} g(T_s^t) - g(T_s^*) = \frac{(P_m - P_s - c_m)}{2(-\beta + k + v)} + \\ \frac{T_e(2P_s + \alpha T_l + 2c_s)}{4(\alpha T_l - \beta T_e)} - \frac{\alpha^2(T_l - T_e)}{2(\alpha + \beta)^2} \end{cases} \quad (20)$$

因 $\square P_m = g(P_m^t) - g(P_m^*) < 0$, 而 $g(T_s^t) - g(T_s^*) < 0, g(T_s^t) < g(T_s^*)$, 可得到 $T_s^t > T_s^*, P_m^t > P_m^*$ 。联立式(6)、(13)、(19)可得纺织服装供应链上成员各自利润:

$$P_m^* = \frac{A - B_2(T_l - \sqrt{2y(T_l - T_e)})}{2B_1} + vy + P_s - \beta y + ky + c_m \quad (21)$$

$$P_m^t = \begin{cases} \frac{1}{3B_1}[2B_1P_s - 2B_1\beta y + 2B_1ky + 2B_1vy] \\ + 2B_1c_m + A - B_2(T_l - \sqrt{2y(T_l - T_e)}) \end{cases} \quad (22)$$

$$T_s = T_l - \sqrt{2y(T_l - T_e)} \quad (23)$$

将(21)、(22)、(23)代入纺织服装供应链总利润函数中, 可得:

$$\square \pi_m = \pi_m^t - \pi_m^* > 0, \quad \square \pi_s = \pi_s^t - \pi_s^* > 0$$

也即经过 Pareto 优化后, 纺织服装供应链总利润大于 Nash 均衡下的情形。

五、结束语

在对大规模的定制化订单进行定价和交货期决策时, 考虑纺织服装供应链成员间存在博弈的情形, 建立 Nash 均衡基础的供应链订单决策 Pareto 优化模型, 以合理分配供应链成员间的利润, 纺织服装生产企业与供应商之间形成的紧密协作, 从而实现纺织服装供应链总利润最优。在供应链中仅考虑单一供应商的基础上, 针对多供应商下的供应链订单决策, 以及跨供应链订单决策, 是接下来值得进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] 周兴建, 李顺, 骆祥. 汉派服装与 ZARA 及 H&M 企业供应链发展比较[J]. 武汉纺织大学学报, 2013, 26(2): 10-13.
- [2] 周颖. MTO 供应链承诺交货期决策研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [3] 林勇, 乐晓娟, 于建红. 基于生产能力的价格与交货期协调决策模型[J]. 工业工程管理, 2009, (05): 18-22.
- [4] 赵明, 张雁. 需求依赖价格和交货期的供应链协调模型[J]. 合肥学院学报, 2011, (02): 33-36.
- [5] Schilling M. Towards a general modular systems theory and its application to inter firm product modularity [J]. Academy of Management Review, 2010, (02): 336-352.
- [6] 黄晶. 基于模块化供应的缩短交货期的协同决策模型研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
- [7] 周兴建, 黎继子, 谢少安. 集群式供应链中的物流价值链优化[J]. 中国流通经济, 2011, 4(4): 34-37.
- [8] 孙东川, 叶飞. 动态联盟分配的谈判模型研究[J]. 科研管理, 2011, (03): 91-95.
- [9] 宋华明, 马士华. 供应链中提前期压缩的 Pareto 优化[J]. 控制与决策, 2012, (07): 776-780.

Optimization of Order Decision for Textile and Clothing Supply Chain Base on Mass Customization

CHEN Xiao-di, SHU Chen, ZHOU Xing-jian, HUANG Shao-nan

(School of Management, Wuhan Textile University, Wuhan Hubei 430073, China)

Abstract: In the environment of mass customization, the supply chain of textile and clothing make order decisions and process orders with members' collaborations. Considering the supply chain use the production way of combining modular and customization, i.e. MTO + MTS, the profit function of manufacturing and supplying is analyzed, and then the general model of order decision is established with non cooperative strategy based on Nash equilibrium. Moreover, considering the collaboration between the supply chain members, the order decision is optimized by Pareto optimization. Analysis shows that through the order decision optimization, the supply chain of textile and clothing can determine the best price and the best delivery time, and which maximize profits for the enterprises in the supply chain and meet the needs of customers.

Key words: textile and clothing; mass customization; order decision; Pareto optimization