

考虑信用融资的期权和实物产品最优组合采购策略

刘英, 慕银平

(电子科技大学 经济与管理学院, 成都 611731)

摘要: 分析由零售商和银行组成的供应链系统, 在零售商面临资金约束的条件下, 通过引入期权采购和信用融资的组合方式, 实现企业的资金风险降低和运作效率提升. 通过建立博弈模型分析得出零售商的最优实物产品采购量和最优期权采购量的显性表达式, 证明银行的最优信用借款利率的存在性和唯一性条件. 通过比较存在资金约束情形下的其他运作方式, 发现信用融资是最有效的决策方式, 可以提升零售商的绩效, 最大可能实现全局最优.

关键词: 期权采购; 信用融资; 供应链金融

中图分类号: TP274

文献标志码: A

Optimal option and fixed order decisions with trade credit consideration

LIU Ying, MU Yin-ping

(School of Management and Economics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China. Correspondent: MU Yin-ping, E-mail: ypmu@uestc.edu.cn)

Abstract: The paper analyzes the purchasing policy for a supply chain with a retailer and a bank, in which the retailer has financial constraints. By introducing the option procurement and trade credit, the performance improvement and risk reduction are realized. By analyzing the optimal option and fixed order quantities for the retailer and the optimal loan rate for the bank, the explicit expressions and existence conditions are obtained. By comparing the other ways under financial constraint, it is found that trade credit is the most efficient way for the retailer to improve the performance and to realize the global optimum.

Keywords: option procurement; trade credit; supply chain finance

0 引言

资金问题是企业决策中最具挑战性的问题. Caldentey 等^[1]指出, 资金约束在实践企业中非常普遍和棘手. 因此, 协同企业的销售和采购资金, 提升企业资金的运用效率, 缓解资金压力是企业家和从事企业研究的学者们共同关注并努力寻求解决策略的问题. 面对资金问题, 通常会想到通过资本市场融资, 但是大多数中小企业很难从银行贷款, 或通过发行股票、债券等方式获得所需资金. 因此, 企业除了从资本市场融资外, 往往会通过其他方面缓解资金压力: 1) 通过供应链的运作协调, 提升资金的运转效率, 如, 通过延期付款、期权采购等方式尽量减少资金的支出; 2) 通过供应链成员间的信用融资, 增加资金的匹配度, 如, 通过供应链成员之间的信用借贷, 或由信用等级较高的供应商、分销商或零售商等供应链成员提供信

用担保向银行等金融中介为其他供应链成员企业提供贷款. 本文结合这两种方式, 一方面通过期权采购改变资金的支出时点, 另一方面, 通过银行信用融资, 解决资金失衡和不匹配问题. 这种方式能够有效改善企业融资服务的效率, 降低融资成本.

与本文研究相关的主要有两大研究领域: 一是关于供应链融资的研究, 二是关于期权采购的研究. 供应链融资的研究作为运作管理的热点问题, 近几年取得了较大的研究进展. 归纳起来, 主要分为内部融资和外部融资两个方面: 内部融资, 主要研究供应链成员之间通过商业信用交易的方式进行资金支付方式或支付时点的改变, 如延期支付^[2-3]、提前支付^[4]等方式在实践中和学术研究中都非常普遍^[5-7]. 这些研究主要集中在分析供应链成员之间通过商业信用方式进行资金融通的行为, 而没有考虑外部金融中介, 如银

收稿日期: 2015-10-13; **修回日期:** 2016-03-03.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(71531003); 国家自然科学基金面上项目(71172096).

作者简介: 刘英(1972-), 女, 讲师, 博士生, 从事供应链金融的研究; 慕银平(1976-), 男, 教授, 博士生导师, 从事运营管理研究.

行等对供应链成员决策行为和供应链效率的影响, 本文引入了银行作为外部金融中介对供应链成员进行融资, 并分析了这种融资方式对供应链决策方式和效率的影响. 外部融资主要分析在外部金融中介参与的情况下供应链的最优决策^[8]、效率分析^[9-12]和供应链协调问题^[13-17]. 还有部分研究针对内外部不同融资模式进行比较分析^[18-23]. 归纳起来, 这些研究主要讨论在不同的融资方式下供应链的最优决策和效率问题, 研究中都只考虑了实物产品采购决策问题, 没有涉及期权的采购决策. 本文结合实物产品采购和期权采购两种方式, 并引入现实中较为常见的银行信用融资以实现企业的资金流顺畅和物流运作效率提升.

关于期权采购决策的研究, 目前可以分为两个方面: 一方面从供应链协调合同设计的视角进行期权合同的研究, 如回购合同、备份协议、延期支付、柔性订货等都是期权合同的特殊应用形式. 大量文献聚焦于单、双向期权合同设计^[24-27]、评价^[28-29]、信息共享^[30]等问题的研究, 这些文献主要集中于讨论如何通过调整合同参数使得分散化决策能达到集中化决策的效果, 实现供应链协调^[31-33]. 部分文献结合现货市场和期权/期货采购研究供应链的协调策略^[34-38]. Haksöz 等^[39]对于该领域的研究作了详细的综述. 另一方面, 从柔性采购的问题上进行期权采购策略研究. 如零售商可以进行期权买卖的最优期权采购策略问题^[40], 零售商从多个供应商处购买期权的最优决策问题^[41], 同时存在期权市场和现货市场的最优采购策略问题^[42-43], 价格不确定的期权采购与即时采购策略问题^[44], 期权与数量柔性契约相结合的柔性采购问题^[45], 需求相关的价格折扣式期权采购契约问题^[46]等. 然而, 这些研究主要针对最优化期权采购策略问题, 没有涉及基于银行的信用融资问题. Feng 等^[47]研究了零售商存在资金约束且可以从银行进行融资的情况下, 实物产品和期权的联合采购问题, 但该研究模型中银行融资作为外生变量, 银行不参与决策只按照市场利率提供借款.

本文在零售商存在资金约束且实行信用融资的背景下, 将银行作为决策主体纳入供应链系统, 分析由零售商和银行组成的两阶段供应链体系, 通过实施期权采购和信用融资的组合方式, 得出银行的最优利率决策和零售商的最优组合采购策略.

1 模型界定

1.1 决策时序

本文考虑由零售商和银行组成的两阶段供应链系统, 零售商存在资金约束. 提前期开始时, 零售商向银行进行信用融资, 然后以价格 w 订购 Q 单位实物产品和以价格 w_o 订购 M 单位实物期权. 销售期开始时,

零售商将收到实物产品的订货, 同时, 零售商根据观察到的市场需求 D 和收到的实物产品数量 Q 决定以价格 w_e 执行期权. 期权的最大执行数量不能超过 M . 假定一单位期权刚好代表一单位实物产品的采购权, 零售商将采购的产品以价格 p 在最终产品市场进行销售, 零售商初始自有资金为 Y . 假定 $f(x)$ 代表提前期开始时零售商所预测的市场需求的概率密度函数, $F(x)$ 是市场需求的累积分布函数. 假设两个函数都是连续的, 且 $F(x)$ 可微. 供应链决策时序如图 1 所示.

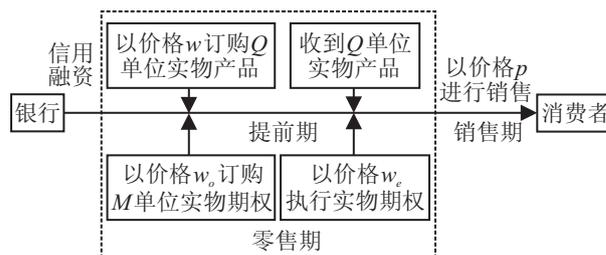


图 1 供应链决策时序

1.2 符号定义及模型假设

为了方便表述和阅读, 构建模型所涉及的符号归纳如表 1 所示.

表 1 符号定义表

符号	定义
Q	实物产品采购量
p	最终产品市场价格
w	产品批发价格
M	实物期权采购量
w_o	期权采购价格
w_e	期权执行价格
D	最终产品市场需求
$F(x)$	市场需求累积分布函数
$f(x)$	市场需求概率密度函数
Y	零售商初始自有资金
B	向银行的非信用借款数量
r_B	银行利率水平
r_f	无风险利率

在构建模型过程中, 为了更符合实际情况, 作出如下假设.

假设 1 $0 < w < w_e + w_o$, 即采购一单位实物产品将低于购买并执行一单位期权的总成本.

假设 2 $0 < w_o + w_e < p$, 即单位产品的市场价格高于购买并执行单位期权的总成本.

假设 3 $0 < w < p$, 即单位产品的销售价格将高于采购价格.

假设 1 和假设 3 非常直观, 假设 2 表明购买期权将有利润可图.

2 银行的最优决策

本节主要分析银行的最优决策过程. 由于零售商的初始资金不足, 即 $wQ + w_oM \geq Y$, 零售商需要向

银行进行信用融资. 假定零售商只承担有限责任, 银行将决策最优的融资利率 r_B . 构造银行的利润函数为

$$\pi_B(r_B) = \begin{cases} Y - wQ - w_oM + \min\{(wQ + w_oM - Y)(1 + r_B), pD\}, & D \leq Q; \\ Y - wQ - w_oM - w_e(D - Q) + \min\{(wQ + w_oM + w_e(D - Q) - Y)(1 + r_B), pD\}, & Q < D \leq Q + M; \\ Y - wQ - (w_o + w_e)M + \min\{(wQ + w_oM + w_eM - Y)(1 + r_B), p(Q + M)\}, & D > Q + M. \end{cases}$$

s.t. $wQ + w_oM \geq Y$. (1)

式(1)表明, 银行的利润取决于以下3种情形:

1) 当 $D \leq Q$ 时, 零售商不需要执行期权, 因此, 银行的利润取决于成本 (零售商借款 $wQ + w_oM - Y$) 与银行本息收入 ($\min\{(wQ + w_oM - Y)^+(1 + r_B), pD\}$) 的差额 (零售商为有限责任).

2) 当 $Q < D \leq Q + M$ 时, 零售商将执行部分期权 $D - Q$, 因此, 零售商向银行的借款额, 即银行的成本为 $wQ + w_oM + w_e(D - Q) - Y$, 银行的收入为 $\min\{(wQ + w_oM + w_e(D - Q) - Y)(1 + r_B), pD\}$, 利润取决于收入与成本的差额.

3) 当 $D > Q + M$ 时, 零售商执行所有期权 M , 因此, 银行的成本为 $wQ + w_oM + w_eM - Y$, 银行的收入为 $\min\{(wQ + w_oM + w_eM - Y)(1 + r_B), p(Q + M)\}$, 利润为收入与成本之差.

在约束条件的前提下, 将银行的利润函数化简整理, 可得

$$\pi_B(r_B) = \min\{\{wQ + w_oM + w_e \min[(D - Q)^+, M] - Y\}^+(1 + r_B), \min[pD, p(Q + M)]\} - \{wQ + w_oM + w_e \min[(D - Q)^+, M] - Y\}^+. \quad (2)$$

假设银行处于完全竞争市场, 获取期望无风险利率, 有如下等式成立:

$$E[\{wQ + w_oM + w_e \min[(D - Q)^+, M] - Y\}^+(1 + r_f)] = E[\min\{\{wQ + w_oM + w_e \min[(D - Q)^+, M] - Y\}^+(1 + r_B), \min[pD, p(Q + M)]\}]. \quad (3)$$

结论 1 当 $E[\min[pD, p(Q + M)]] \geq L(Q, M)(1 + r_f)$ 时, 银行存在最优的信用融资利率 r_B^* , 由下式得到:

$$E[\min\{L(Q, M)(1 + r_B^*), \min[pD, p(Q + M)]\}] =$$

$$L(Q, M)(1 + r_f). \quad (4)$$

证明 分别证明最优的信用融资利率 r_B^* 的存在性和唯一性.

存在性条件. 令

$$\begin{aligned} r_B &\in (r_f, +\infty), \\ L(Q, M) &= E[\{wQ + w_oM + w_e \min[(D - Q)^+, M] - Y\}^+], \\ G(r_B) &= E[\min\{L(Q, M)(1 + r_B), \min[pD, p(Q + M)]\}] - L(Q, M)(1 + r_f), \end{aligned}$$

可得

$$\begin{aligned} G(r_f) &= E[\min\{L(Q, M)(1 + r_f), \min[pD, p(Q + M)]\}] - L(Q, M)(1 + r_f) \leq \\ &\min\{L(Q, M)(1 + r_f), E[\min[pD, p(Q + M)]]\} - L(Q, M)(1 + r_f), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} G(+\infty) &= E[\min\{L(Q, M)(1 + \infty), \min[pD, p(Q + M)]\}] - L(Q, M)(1 + r_f) \geq \\ &E[\min[pD, p(Q + M)]] - L(Q, M)(1 + r_f). \end{aligned} \quad (6)$$

由式(5)和(6)可见, 当 $E[\min[pD, p(Q + M)]] \geq L(Q, M)(1 + r_f)$ 时, $G(r_f) \leq 0$, $G(+\infty) \geq 0$, 由于 $G(\cdot)$ 为连续函数, 至少存在一个 $r_B \in (r_f, +\infty)$, 使得 $G(r_B) = 0$.

唯一性条件. 将 $\min[pD, p(Q + M)]$ 用一个随机变量 Z 表示, 该随机变量的概率密度函数为 $f(Z)$, 分布函数为 $F(Z)$, 则有

$$\begin{aligned} G(r_B) &= E[\min\{L(Q, M)(1 + r_B), Z\}] - L(Q, M)(1 + r_f) = \\ &\int_0^{L(Q, M)(1 + r_B)} Zf(Z)dZ + \int_{L(Q, M)(1 + r_B)}^{\infty} L(Q, M)(1 + r_B)f(Z)dZ - L(Q, M)(1 + r_f). \end{aligned} \quad (7)$$

将式(7) $G(r_B)$ 函数对 r_B 求一阶导数, 可得

$$\frac{dG(r_B)}{dr_B} = \int_{L(Q, M)(1 + r_B)}^{\infty} L(Q, M)f(Z)dZ = L(Q, M)\bar{F}[L(Q, M)(1 + r_B)] > 0. \quad (8)$$

由求导结果可知, $G(r_B)$ 是关于 r_B 的单调递增函数, 因此存在唯一的 r_B^* 使得 $G(r_B^*) = 0$.

当 $E[\min[pD, p(Q + M)]] \geq L(Q, M)(1 + r_f)$ 时, 银行存在最优的信用融资利率 r_B^* . 最优结果可由 $G(r_B^*) = 0$, 即 $E[\min\{L(Q, M)(1 + r_B^*), \min[pD, p(Q + M)]\}] = L(Q, M)(1 + r_f)$ 计算得到. 在给定具体需求函数分布的情况下, 可以求解出最优的银行信用融资利率 r_B^* . \square

3 零售商的最优决策

零售商的利润函数 $\tilde{\pi}_R(Q, M)$ 表示为

$$\tilde{\pi}_R(Q, M) = \begin{cases} pD - Y - \min\{(wQ + w_oM - Y)(1 + r_B), pD\}, & D \leq Q; \\ pD - Y - \min\{(wQ + w_oM + w_e(D - Q) - Y)(1 + r_B), pD\}, & Q < D \leq Q + M; \\ p(Q + M) - Y - \min\{(wQ + w_oM + w_eM - Y)(1 + r_B), p(Q + M)\}, & D > Q + M. \end{cases}$$

s.t. $wQ + w_oM \geq Y, Q \geq 0, M \geq 0.$ (9)

零售商的利润函数表明: 1) 当 $D \leq Q$ 时, 零售商将不执行期权, 零售商的利润取决于收入 pD 与成本 $\min\{(wQ + w_oM - Y)(1 + r_B), pD\} + Y$ 的差额; 2) 当 $Q < D \leq Q + M$ 时, 零售商将执行部分期权 $D - Q$, 零售商的银行借贷成本增加为 $\min\{(wQ + w_oM + w_e(D - Q) - Y)(1 + r_B), pD\} + Y$, 利润取决于收入与成本的差额; 3) 当 $D > Q + M$ 时, 零售商执行所有期权 M , 收入为 $p(Q + M)$, 成本为 $\min\{(wQ + w_oM + w_eM - Y)(1 + r_B), p(Q + M)\} + Y$, 利润为收入与成本之差.

考虑约束条件的基础上, 将零售商的利润函数化简为

$$\tilde{\pi}_R(Q, M) = \min[pD, p(Q + M)] - Y - \min\{wQ + w_oM + w_e \min[(D - Q)^+, M] - Y\}^+(1 + r_B), \min[pD, p(Q + M)]\}. \quad (10)$$

将银行最优决策等式代入零售商的利润函数, 化简并写出零售商的期望利润函数为

$$\pi_R(Q, M) = \min[pD, p(Q + M)] - E[\{wQ + w_oM + w_e \min[(D - Q)^+, M] - Y\}^+(1 + r_f) - Y] = \int_0^Q pxf(x)dx + \int_Q^{Q+M} [px - w_e(x - Q)(1 + r_f)]f(x)dx + \int_{Q+M}^\infty [p(Q + M) - w_eM(1 + r_f)]f(x)dx - Y - \{wQ + w_oM - Y\}^+(1 + r_f). \quad (11)$$

根据约束条件 $wQ + w_oM \geq Y$ 可得 $wQ + w_oM + w_eM \geq Y$.

当最优解 $wQ^* + w_oM^* + w_eM^* < Y$ 时, 零售商不存在预算约束, 不需要向银行进行融资, 最优结果将是全局最优解. 这种情况下将进行比较分析, 主要分析零售商存在预算约束的情形, 即 $wQ + w_oM \geq Y$. 将零售商的期望利润函数 $\pi_R(Q, M)$ 分别对 Q 和 M 求一阶、二阶偏导, 可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_R(Q, M)}{\partial Q} &= ((1 + r_f)w_e - p)F(Q + M) - (1 + r_f)w_eF(Q) + p - (1 + r_f)w, \\ \frac{\partial \pi_R(Q, M)}{\partial M} &= ((1 + r_f)w_e - p)F(Q + M) + p - (1 + r_f)w_o - (1 + r_f)w_e, \\ \frac{\partial \pi_R^2(Q, M)}{\partial Q^2} &= ((1 + r_f)w_e - p)f(Q + M) - (1 + r_f)w_e f(Q), \\ \frac{\partial \pi_R^2(Q, M)}{\partial M^2} &= \frac{\partial \pi_R^2(Q, M)}{\partial M \partial Q} = \frac{\partial \pi_R^2(Q, M)}{\partial Q \partial M} = ((1 + r_f)w_e - p)f(Q + M). \end{aligned} \quad (12)$$

通过构造海塞矩阵计算得

$$\begin{aligned} H_1 &= ((1 + r_f)w_e - p)f(Q + M) - (1 + r_f)w_e f(Q) < 0, \\ H_2 &= - (1 + r_f)((1 + r_f)w_e - p)w_e f(Q + M)f(Q) > 0. \end{aligned} \quad (13)$$

可以判断, 零售商的期望利润函数 $\pi_R(Q, M)$ 是关于 Q 和 M 的联合凹函数,

令利润函数的一阶偏导等于 0, 可得

$$\begin{aligned} ((1 + r_f)w_e - p)F(Q + M) - (1 + r_f)w_eF(Q) + p - (1 + r_f)w &= 0, \\ ((1 + r_f)w_e - p)F(Q + M) + p - (1 + r_f)w_o - (1 + r_f)w_e &= 0. \end{aligned} \quad (14)$$

求解方程组 (14), 得到最优的实物产品和期权采购量分别为

$$\begin{aligned} Q^* &= F^{-1}\left(\frac{w_o + w_e - w}{w_e}\right), \\ M^* &= F^{-1}\left(\frac{p - (1 + r_f)(w_o + w_e)}{p - (1 + r_f)w_e}\right) - Q^*. \end{aligned} \quad (15)$$

结论 2 零售商存在预算约束且进行银行信用融资的前提下, 存在最优的实物产品采购量 Q^* 和期权采购量 M^* .

下面分析几种特殊情形下的零售商决策结果:

1) 不存在资金约束.

当零售商不存在资金约束时, 零售商利润函数为

$$\tilde{\pi}_g(Q, M) = \min[pD, p(Q + M)] - \{wQ + w_oM + w_e \min[(D - Q)^+, M]\}. \quad (16)$$

优化可得零售商的实物产品和期权采购数量的全局最优解分别为

$$\begin{aligned} Q_g &= F^{-1}\left(\frac{w_o + w_e - w}{w_e}\right), \\ M_g &= F^{-1}\left(\frac{p - w_o - w_e}{p - w_e}\right) - Q_g. \end{aligned} \quad (17)$$

直接对比式 (15) 和 (17) 可得如下推论.

推论 1 $Q^* = Q_g, Q^* + M^* < Q_g + M_g.$

推论1表明, 当零售商存在预算约束且可进行银行信用融资时, 实物产品的采购量可以达到全局最优解, 而总采购量较全局最优结果有所减少.

2) 提前期存在资金约束.

如果零售商提前期存在资金约束且无法获得融资, 销售期开始后有其他资金来源可以执行期权, 则零售商的期望利润函数 $\pi_l(Q, M)$ 可以表示为

$$\begin{aligned} \pi_l(Q, M) = & \int_0^Q px f(x) dx + \int_Q^{Q+M} [px - w_e(x - Q)] f(x) dx + \\ & \int_{Q+M}^{\infty} [p(Q + M) - w_e M] f(x) dx - wQ - w_o M; \\ \text{s.t. } & wQ + w_o M \leq Y. \end{aligned} \quad (18)$$

如果当最优采购量满足 $wQ + w_o M < Y$, 则约束条件不起作用, 最优解与全局最优解 (Q_g, M_g) 一致; 如果最优采购量满足 $wQ + w_o M > Y$, 则约束条件将起作用, 变为 $wQ^* + w_o M^* = Y$, 根据拉格朗日法则, 零售商的利润函数改写为

$$\begin{aligned} \pi_l(Q, M) = & \int_0^Q px f(x) dx + \int_Q^{Q+M} [px - w_e(x - Q)] f(x) dx + \\ & \int_{Q+M}^{\infty} [p(Q + M) - w_e M] f(x) dx - \\ & (1 + \lambda)wQ - (1 + \lambda)w_o M + \lambda Y, \end{aligned} \quad (19)$$

其中 λ 为拉格朗日乘子.

对 $\pi_l(Q, M)$ 进行优化分析可得, 零售商提前期存在资金约束且无法获得融资时的最优实物产品和期权采购量分别为

$$\begin{aligned} Q_l = F^{-1} \left(\frac{(1 + \lambda)w_o + w_e - (1 + \lambda)w}{w_e} \right), \\ M_l = F^{-1} \left(\frac{p - (1 + \lambda)w_o - w_e}{p - w_e} \right) - Q_l. \end{aligned} \quad (20)$$

Q_l 可以进一步变化为

$$Q_l = F^{-1} \left(\frac{w_o + w_e - w}{w_e} - \frac{\lambda(w - w_o)}{w_e} \right). \quad (21)$$

由式(15)的实物产品采购量表达式可以看出, $Q_l < Q^*$. 假设拉格朗日乘子 λ 与银行无风险利率 r_f 相等, 比较式(15)的期权采购量表达式, 可得 $M_l + Q_l < M^* + Q^*$. 结合推论1, 得到如下推论.

推论2 $Q_l < Q^* = Q_g, M_l + Q_l < M^* + Q^* < M_g + Q_g$.

推论2表明, 当零售商只在提前期存在资金约束, 即 $wQ + w_o M \leq Y$, 且无法获取融资时, 最优决策均小于有信用融资情况下的最优决策.

3) 提前期和销售期皆存在资金约束.

如果零售商提前期和销售期没有其他资金来源, 则零售商的资金约束将变为 $wQ + (w_o + w_e)M \leq Y$, 零售商的期望利润函数 $\pi_h(Q, M)$ 可以表示为

$$\begin{aligned} \pi_h(Q, M) = & \int_0^Q px f(x) dx + \int_Q^{Q+M} [px - w_e(x - Q)] f(x) dx + \\ & \int_{Q+M}^{\infty} [p(Q + M) - w_e M] f(x) dx - wQ - w_o M; \\ \text{s.t. } & wQ + (w_o + w_e)M \leq Y. \end{aligned} \quad (22)$$

对零售商的利润函数 $\pi_h(Q, M)$ 进行分析优化可得, 当零售商整个提前期和销售期都存在资金约束且无法获得融资时, 最优的实物产品和期权采购量为

$$\begin{aligned} Q_h = F^{-1} \left(\frac{(1 + \lambda)(w_o + w_e - w)}{w_e} \right), \\ M_h = F^{-1} \left(\frac{p - (1 + \lambda)(w_o + w_e)}{p - w_e} \right) - Q_h. \end{aligned} \quad (23)$$

将式(23)的结果与(15)信用融资条件下的最优采购量表达式进行比较, 可得 $Q_h > Q^*$. 当拉格朗日乘子 λ 与银行无风险利率 r_f 相等时, $M_h + Q_h < M^* + Q^*$, 结合推论1可得如下推论.

推论3 $Q_h > Q^* = Q_g, M_h + Q_h < M^* + Q^* < M_g + Q_g$.

推论3表明, 当零售商在提前期和销售期都存在资金约束, 即 $wQ + (w_o + w_e)M \leq Y$, 且无法获取融资时, 最优实物产品采购量将超过信用融资情形下的最优决策, 总采购量小于有信用融资情况下的最优决策.

4) 存在资金约束但实行非信用融资.

如果零售商存在资金约束, 但可以向银行进行非信用融资, 如抵押、担保、有条件贷款等, 则零售商的贷款额为 $B = wQ + (w_o + w_e)M - Y$, 零售商的目标函数 $\pi_r(Q, M)$ 可以表示为

$$\begin{aligned} \pi_r(Q, M) = & \int_0^Q px f(x) dx + \int_Q^{Q+M} [px - w_e(x - Q)] f(x) dx + \\ & \int_{Q+M}^{\infty} [p(Q + M) - w_e M] f(x) dx - wQ - \\ & w_o M - r_f[wQ + (w_o + w_e)M - Y]. \end{aligned} \quad (24)$$

对零售商的利润函数 $\pi_r(Q, M)$ 进行优化分析可得, 当零售商存在资金约束, 但可以向银行进行非信用融资时, 最优实物产品和期权采购数量分别为

$$\begin{aligned} Q_r = F^{-1} \left(\frac{(1 + r_f)(w_o + w_e - w)}{w_e} \right), \\ M_r = F^{-1} \left(\frac{p - (1 + r_f)(w_o + w_e)}{p - w_e} \right) - Q_r. \end{aligned} \quad (25)$$

将式(25)的结果与(15)信用融资条件下的最优采购量表达式进行比较, 可得 $Q_r > Q^*$, $M_r + Q_r < M^* + Q^*$, 结合推论1可得如下推论.

推论4 $Q_r > Q^* = Q_g, M_r + Q_r < M^* + Q^* < M_g + Q_g$.

推论4表明, 当零售商存在资金约束但采用非信

用融资方式筹措资金时, 最优实物产品采购量将超过信用融资情形下的最优决策, 但总采购量小于有信用融资情况下的最优决策.

结合推论 1~推论 4 的研究结论, 比较上述 4 种不同情形下的企业最优决策结果表达式, 可以得到如下结论.

结论 3 存在预算约束的情形下, 信用融资是最有效的决策方式, 可以实现决策结果最接近全局最优解, 即 $Q_r = Q_h > Q^* = Q_g > Q_l, M_r + Q_r = M_h + Q_h < M_l + Q_l < M^* + Q^* < M_g + Q_g$.

4 算例分析

为了进一步分析上述研究结果, 本文设计了如下算例分析. 根据文献 [47] 的研究, 假设需求函数满足 $\lambda = 0.01$ 的指数分布. 设定市场价格 $p = 13$, 批发价格 $w = 7$, 期权采购价格 $w_o = 1$, 期权执行价格 $w_e = 8$, 无风险利率 $r_f = 0.1$. 如果没有资金约束, 则最优的实物产品采购量为 $Q_g = 28.77$, 期权采购量为 $M_g = 132.17$, 最小资金需求量为 $Y = 1390.92$. 当 $Y < 1390.92$ 时, 企业决策将面临资金不足的压力. 面临不同的资金紧张程度 Y , 企业将作出不同的最优实物产品和期权的采购决策, 如图 2 所示.

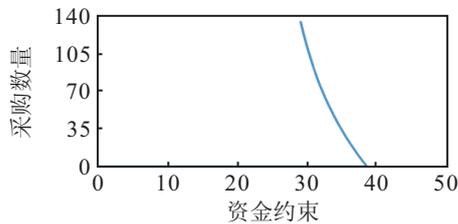


图 2 不同资金约束下的实物产品和期权最优采购数量

由图 2 可见, 不同资金紧张程度下的企业最优采购决策行为路径. 资金越紧张, 企业越倾向于采购实物产品; 当资金额度超过一定阈值时, 企业开始采购实物产品和期权的组合; 随着资金数量变多, 期权采购量变大, 对应的实物产品采购量逐渐减少.

下面分析不同资金约束程度和不同融资策略结合情况下的企业最优决策结果和利润状况, 如表 2 和表 3 所示.

由表 2 和表 3 可见, 存在预算约束的情形下, 信用融资决策方式大大提升了企业的效益, 可以实现决

表 2 不同资金约束和不同融资方式下的最优决策结果

Y	Q^*	M^*	Q_l	M_l	Q_h	M_h	Q_r	M_r
1000	28.77	132.17	61.33	63.41	61.33	63.41	61.33	63.41
800	28.77	132.17	32.16	64.6	79.52	27.04	32.16	64.6
600	28.77	132.17	32.16	64.6	85.71	0	32.16	64.6
400	28.77	132.17	32.16	64.6	57.14	0	32.16	64.6
200	28.77	105.21	9.69	132.18	28.57	0	32.16	64.6
100	28.77	105.21	0	100	14.28	0	32.16	64.6

表 3 不同资金约束和不同融资方式下的企业最优利润

Y	$\pi_R(Q^*, M^*)$	$\pi_g(Q_g, M_g)$	$\pi_l(Q_l, M_l)$	$\pi_h(Q_h, M_h)$	$\pi_r(Q_r, M_r)$
1000	266.48	266.48	230.30	230.30	230.30
800	266.48	266.48	229.62	182.88	229.62
600	266.48	266.48	219.62	148.19	219.62
400	266.48	266.48	199.62	133.29	199.62
200	212.78	266.48	147.15	122.76	179.62
100	202.78	266.48	136.06	73.31	169.62

策结果最接近全局最优解. 企业获得的利润是所有决策方式(提前期存在资金约束且不采用融资手段、提前期和销售期都存在资金约束且不采用融资手段、存在资金约束且采用非信用融资方式)中最大的.

5 结 论

资金短缺是大多数企业实际中都会遇到的问题, 供应链金融研究提出, 可以通过供应链内部成员之间进行商业信用融资或引入外部金融中介实现资金的融通. 本文结合内外部两种融资方式, 一方面通过供应链成员之间的期权采购改变资金的支付方式和时点, 另一方面引入银行机构进行资金融通. 通过构建由零售商和银行组成的两阶段供应链系统, 分析了在零售商面临资金约束的条件下, 如何通过期权采购和商业信用融资的组合方式实现核心企业的资金风险降低和运作效率提升. 分析得出了零售商的最优实物产品采购量和最优期权采购量的显性表达式, 证明了参与银行的最优信用借款利率的存在性和唯一性条件, 并给出了最优利率的计算等式. 通过比较提前期存在资金约束、提前期和销售期都存在资金约束、实行非信用融资等情形下的最优决策, 发现存在资金约束时采用信用融资是最有效且最接近全局最优解的决策方式, 可以提升零售商的绩效, 最大可能实现全局最优. 最后通过设计数值计算, 对比分析了不同融资方式和决策手段下供应链各参与主体的最优决策结果及其效率, 并描绘出了相应的变化趋势. 该研究在理论上补充和完善了供应链融资的研究理论, 且为现实企业的融资决策提供了新的思路.

参考文献(References)

- [1] Caldentey R, Haugh M B. Supply contracts with financial hedging[J]. Operations Research, 2009, 57(1): 47-65.
- [2] Teng J T, Min J, Pan Q. Economic order quantity model with trade credit financing for non-decreasing demand[J]. Omega, 2012, 40(3): 328-335.
- [3] Moussawi-Haidar L, Jaber M Y. A joint model for cash and inventory management for a retailer under delay in payments[J]. Computers & Industrial Engineering, 2013, 66(4): 758-767.

- [4] Babich V. Independence of capacity ordering and financial subsidies to risky suppliers[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2010, 12(4): 583-607.
- [5] 周永务, 陈嘉茵. 基于供应链金融的经销商链式融资模型[J]. *华南理工大学学报: 社会科学版*, 2012, 14(5): 64-73.
(Zhou Y W, Chen J Y. The distributor chain financing model based on supply chain finance[J]. *J of South China University of Technology: Social Science Edition*, 2012, 14(5): 64-73.)
- [6] Chen X F, Wang A Y. Trade credit contract with limited liability in the supply chain with budget constraints[J]. *Annual Operations Research*, 2012, 196(1): 153-165.
- [7] Zhang Q, Dong M, Luo J, et al. Supply chain coordination with trade credit and quantity discount incorporating default risk[J]. *Int J of Production Economics*, 2014, 153(4): 352-360.
- [8] 陈建新, 周永务. 见货回购融资模式的供应链运营决策[J]. *控制与决策*, 2015, 30(7): 1257-1263.
(Chen J X, Zhou Y W. Distributor chain financing decision model based on buy back guarantee[J]. *Control and Decision*, 2015, 30(7): 1257-1263.)
- [9] 陈祥锋, 朱道立, 应雯堵. 资金约束与供应链中的融资和运营综合决策研究[J]. *管理科学学报*, 2008, 11(3): 70-77.
(Chen X F, Zhu D L, Ying W D. Financial and operation decisions in budget-constrained supply chain[J]. *J of Management Sciences in China*, 2008, 11(3): 70-77.)
- [10] Raghavan N R S, Mishra V K. Short-term financing in a cash-constrained supply chain[J]. *Int J of Production Economics*, 2009, 43(1): 993-1001.
- [11] Chen X F, Wan G H. The effect of financing on a budget-constraint supply chain under wholesale price contract[J]. *Asia-Pacific J of Operational Research*, 2011, 28(4): 457-485.
- [12] 于辉, 马云麟. 订单转保理融资模式的供应链金融模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(7): 1733-1743.
(Yu H, Ma Y L. The supply chain finance model-based on the order-to-factoring mode[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2015, 35(7): 1733-1743.)
- [13] 王宗润, 田续燃, 陈晓红. 考虑隐性股权的应收账款融资模式下供应链金融博弈分析[J]. *中国管理科学*, 2015, 23(9): 1-8.
(Wang Z R, Tian X R, Chen X H. Game theory analysis on accounts receivable financing of supply chain[J]. *Chinese J of Management Science*, 2015, 23(9): 1-8.)
- [14] Yan N, Sun B, Zhang H, et al. A partial credit guarantee contract in a capital-constrained supply chain: financing equilibrium and coordinating strategy[J]. *Int J of Production Economics*, 2016, 173(3): 122-133.
- [15] Chen X. A model of trade credit in a capital-constrained distribution channel[J]. *Int J of Production Economics*, 2015, 159(1): 347-357.
- [16] Zhang Q, Dong M, Luo J, et al. Supply chain coordination with trade credit and quantity discount in incorporating default risk[J]. *Int J of Production Economics*, 2014, 153(1): 352-360.
- [17] Xu X, Cheng X, Sun Y. Coordination contracts for outsourcing supply chain with financial constraint[J]. *Int J of Production Economics*, 2015, 162(4): 134-142.
- [18] 张小娟, 王勇. 零售商资金约束的双渠道供应链决策[J]. *控制与决策*, 2014, 29(2): 299-306.
(Zhang X J, Wang Y. Dual-channel supply chain decision with retailer,s capital constraint[J]. *Control and Decision*, 2014, 29(2): 299-306.)
- [19] 何宜庆, 郭婷婷. 供应链融资模式下中小企业融资行为的博弈模型分析[J]. *南昌大学学报: 工科版*, 2010, 32(2): 183-187.
(He Y Q, Guo T T. Game model analysis of SMEs' financing behavior based on supply chain financing mode[J]. *J of Nanchang University: Engineering & Technology*, 2010, 32(2): 183-187.)
- [20] 钟远光, 周永务, 李柏勋, 等. 供应链融资模式下零售商的订货与定价研究[J]. *管理科学学报*, 2011, 14(6): 57-66.
(Zhong Y G, Zhou Y W, Li B X, et al. The retailer,s optimal ordering and pricing policies with supply chain financing[J]. *J of Management Sciences in China*, 2011, 14(6): 57-66.)
- [21] Jing B, Chen X, Cai G. Equilibrium financing in a distribution channel[J]. *Production and Operations Management*, 2012, 21(6): 1090-1101.
- [22] 王文利, 骆建文. 零售商提前支付与贷款担保下的供应商融资策略[J]. *管理工程学报*, 2013, (1): 178-184.
(Wang W L, Luo J W. Strategies for financing suppliers based on retailer,s prepayment and loan guarantee[J]. *J of Industrial Engineering Management*, 2013, 27(1): 178-184.)
- [23] 占济舟, 周献中, 公彦德. 生产资金约束供应链的最优融资和生产决策[J]. *系统工程学报*, 2015, 30(2): 190-200.
(Zhan J Z, Zhou X Z, Gong Y D. Optimal financing and production decisions in production capital constrained supply chain[J]. *J of Systems Engineering*, 2015, 30(2): 190-200.)
- [24] 胡本勇, 王性玉, 彭其渊. 基于双向期权的供应链柔性契约模型[J]. *管理工程学报*, 2008, 22(4): 79-84.
(Hu B Y, Wang X Y, Peng Q Y. Supply chain flexibility contract model based on bidirectional options[J]. *J of Industrial Engineering Management*, 2008, 22(4): 79-84.)

- [25] Wang Q Z, Tsao D. Supply contract with bidirectional options: the buyers perspective[J]. *Int J of Production Economics*, 2006, 101(1): 30-52.
- [26] Zhao Y, Meng X, Wang S, et al. Coordination of supply chains with bidirectional option contracts[J]. *European J of Operational Research*, 2013, 229(2): 375-381.
- [27] 李娟, 黄培清, 赵晓敏. 基于更新信息的两级供应链双向期权合同研究[J]. *系统工程学报*, 2008, 23(3): 295-301. (Li J, Huang P Q, Zhao X M. Study on bidirectional options contract for two-stage supply chain based on updating information[J]. *J of Systems Engineering*, 2008, 23(3): 295-301.)
- [28] 陈祥锋, 朱晨波. 供应链采购管理中的期权合同价值研究[J]. *系统工程学报*, 2007, 22(4): 402-406. (Chen X F, Zhu C B. Real options and supply chain procurement contracts[J]. *J of Systems Engineering*, 2007, 22(4): 402-406.)
- [29] 郑克俊. 期权契约下易逝品供应链协调[J]. *系统工程学报*, 2011, 26(2): 211-216. (Zheng K J. Study on supply chain coordination of short-life-cycle wares based on option contract[J]. *J of Systems Engineering*, 2011, 26(2): 211-216.)
- [30] Barnes-Schuster D, Bassok Y, Anupindi R. Coordination and flexibility in supply contracts with options[J]. *Manufacturing and Service Operations Management*, 2002, 4(3): 171-207.
- [31] Wang X, Li F, Liang L, et al. Pre-purchasing with option contract and coordination in a relief supply chain[J]. *Int J of Production Economics*, 2015, 167(9): 170-176.
- [32] Chen X, Hao G, Li L. Channel coordination with a loss-averse retailer and option contracts[J]. *Int J of Production Economics*, 2014, 150(4): 52-57.
- [33] 孙国华, 许垒. 随机供求下二级农产品供应链期权合同协调研究[J]. *管理工程学报*, 2014, 28(2): 201-210. (Sun G H, Xu L. Option contract of two-echelon agricultural supply chain with random supply and demand[J]. *J of Management Sciences in China*, 2014, 28(2): 201-210.)
- [34] Wu D J, Kleindorfer P R, Zhang J E. Optimal bidding and contracting strategies for capital-intensive goods[J]. *European J of Operational Research*, 2002, 137(3): 657-676.
- [35] Kleindorfer P, Wu D J. Integrating long-and short-term contracting via business-to-business exchanges for capital-intensive industries[J]. *Management Science*, 2003, 49(11): 1597-1615.
- [36] Spinler S, Huchzermeier A, Kleindorfer P R. Risk hedging via options contracts for physical delivery[J]. *OR Spectrum*, 2003, 25(3): 379-395.
- [37] Wu D J, Kleindorfer P R. Competitive options, supply contracting and electronic markets[J]. *Management Science*, 2005, 51(3): 452-466.
- [38] Luo M, Li G, Wan C L J, et al. Supply chain coordination with dual procurement sources via real-option contract[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2015, 80(2): 274-283.
- [39] Haksöz Ç, Seshadri S. Supply chain operations in the presence of spot market: A review with discussion[J]. *J of the Operational Research Society*, 2007, 58(11): 1412-1429.
- [40] 陈旭. 考虑期权合同供应链的零售商订货研究[J]. *管理科学学报*, 2006, 9(3): 17-23. (Chen X. Retailers procurement decisions for supply chain with options contracts[J]. *J of Management Sciences in China*, 2006, 9(3): 17-23.)
- [41] Schummer J, Vohra R V. Auctions for procuring options[J]. *Operations Research*, 2003, 51(1): 41-51.
- [42] Fu Q, Lee C Y, Teo C P. Procurement management using option contracts: Random spot price and the portfolio effect[J]. *IIE Transactions*, 2010, 42(11): 793-811.
- [43] 尤晓岚, 冯耕中, 徐金鹏, 等. 基于期权和B2B电子交易的供应链均衡策略[J]. *管理科学学报*, 2014, 17(6): 1-12. (You X L, Feng G Z, Xu J P, et al. Integrating options with B2B online spot market for equilibrium strategies in supply chain[J]. *J of Management Sciences in China*, 2014, 17(6): 1-12.)
- [44] Ritchken P H, Tapiero C S. Contingent claims contracting for purchasing decisions in inventory management[J]. *Operations Research*, 1986, 34(6): 864-870.
- [45] 朱海波, 胡文. 基于期权的供应链数量柔性契约决策模型[J]. *控制与决策*, 2014, 29(5): 860-866. (Zhu H B, Hu W. Decision model of supply chain quantity flexibility contract with option[J]. *Control and Decision*, 2014, 29(5): 860-866.)
- [46] 尚文芳. 两阶段需求相关供应链的价格折扣式期权契约[J]. *系统工程学报*, 2015, 30(6): 804-820. (Shang W F. Coordination by option contracts with price discount for supply chain with related demand[J]. *J of Systems Engineering*, 2015, 30(6): 804-820.)
- [47] Feng Yi, Mu Yinping, Hu Benyong, et al. Commodity options purchasing and credit financing under capital constraint[J]. *Int J of Production Economics*, 2014, 153(7): 230-237.