零售商资金约束下供应商的担保策略分析

李沿海, 欧锦文
(暨南大学管理学院, 广东 广州 510632)

摘要: 针对零售商存在资金约束的两级供应链, 考虑供应商担保对零售商融资成本的分担作用, 研究供应商的最优担保策略. 在传统批发价格合同的基础上加入供应商的担保额度决策, 建立了供应商和零售商之间的 Stackelberg 博弈模型, 分析了双方的最优决策. 研究表明, 供应商的最优担保策略是提供全额担保, 限制担保额度不会提高供应商的期望利润. 在有限比例担保的机制下, 即供应商可以按贷款总量或未偿清贷款量的比例限制其担保责任, 供应商的最优策略依然是提供全额担保. 但是, 当批发价格为外生变量时, 全额担保不一定是供应商的最优策略, 其最优担保额度或比例与批发价格相关.

关键词: 供应商担保贷款; 资金约束; 报童; 批发价合同
中图分类号: F252 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000−5781(2020)03−0390−12
doi: 10.13383/j.cnki.jse.2020.03.009

Analysis on supplier guarantee strategy under retailer’s financial constraint

Li Yanhai, Ou Jinwen
(School of Management, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: In a two-level supply chain, when the capital-constrained retailer borrows a loan from the bank, the supplier can help to share the retailer’s financing cost by providing a guarantee for the retailer’s loan. In order to explore the supplier’s optimal guarantee policy, a Stackelberg game-theoretic model is built which introduces the supplier’s decision on the guarantee amount into the traditional wholesale price contract. The paper finds that the supplier’s optimal policy is to provide full guarantee. The supplier will not benefit from a limited guarantee amount. Even if the supplier can limit his guarantee responsibility by a proportion of all the loan obligation or the outstanding loan obligation, the supplier’s optimal policy is still to provide full guarantee. However, when the wholesale price is exogenous, full guarantee is not necessarily optimal for the supplier.

Key words: supplier-guaranteed loan; capital constraint; newsvendor; wholesale price contract

1 引 言

资金流是维持企业正常运转的血液, 企业的资金不足会导致产能不足、订单延误、服务水平下降等一系列的不利后果, 还可能会导致企业放弃有盈利潜力的项目, 影响企业的发展壮大. 资金流的断裂甚至可能会导致企业的破产倒闭. 许多中小企业面临资金约束时, 由于信用评级较低和抵押资产不足等方面的原因, 往往无法得到银行贷款, 或者面临授信额度低且融资成本高的困境. 从供应链的角度来讲, 企业之间需要通过

收稿日期: 2018−11−04; 修订日期: 2019−05−13.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71101064).

专业分工与协同合作实现共同发展. 当中小企业因资金问题给自身的经营造成困难时, 也会影响到供应链上其他企业甚至核心企业的利益, 降低供应链的整体效率. 例如, 当下游经销商缺乏资金时, 会造成整条供应链的动力不足, 贸易规模会受到限制, 一方面造成上游企业的库存积压, 另一方面无法满足最终客户的需求从而影响供应链的服务水平. 因此, 许多实力较强的企业会为其供应链上下游的合作伙伴提供融资方面的支持. 基于供应链核心企业担保的贷款是一种常见的融资方案. 比如, 银行可直接对供应链核心企业授信并与其建立合作关系, 而核心企业再基于实际贸易关系对供应链上其他的企业授信. 在核心企业的同意与配合之下, 其合作伙伴可以从银行得到融资, 而核心企业承担担保责任.

贷款担保不仅为银行提供了还款的来源与保证, 其优势还在于利用担保企业的信息优势, 发挥担保企业对借款企业的监督和筛选作用, 降低银行的风险. 基于担保的融资方式已经产生了很长时间, 例如中小企业常用的联贷联保, 在解决中小企业的融资问题方面发挥了重要作用. 在经济学领域, 已有许多学者从信息不对称、道德风险、强制力等方面对贷款担保的作用进行了分析. Ghatak 等[1]指出贷款担保有四个重要作用: 降低银行的审计成本, 利用企业间的相互选择为银行找到优质客户, 降低企业违规使用贷款资金的道德风险, 强制促使企业还款. Madajewicz[2]针对单独借款和联贷联保并存的现象, 从监督成本以及借款者资产的角度给出了解释. Baland 等[3]认为联保体成员之间有约束力时, 联贷联保才能发挥更好的作用. Bhole 等[4]则认为即使借款人之间没有有效的制裁手段, 联贷联保仍然比单独借款更好. 这些文献主要从银行的视角分析了贷款担保对于授信风险的影响, 但没有从供应链的角度分析贷款担保的作用, 也不涉及企业的运营决策问题.

与传统的贷款担保不同, 在基于供应链核心企业信誉的担保融资中, 核心企业与借款企业不仅是担保者与被担保者的关系, 而且两者之间存在实质的贸易往来与合作关系, 核心企业对整个供应链的运营与融资风险有更强的控制能力. 在供应链环境下, 核心企业提供贷款担保对双方行为及决策的影响会更加复杂. 因此, 本文针对一种基于供应商担保的融资方式进行研究. 该融资方式是以下游经销商与上游核心企业的真实贸易合同为基础, 通过核心企业的担保, 为下游经销商定向提供用于支付货款的融资[5]. 当下游经销商不能还清贷款时, 由核心企业偿还. 例如一些家电, 手机和汽车的制造企业会为其经销商提供贷款担保. 供应商担保在降低下游经销商融资成本的同时给自身带来一定的风险. 那么, 在供应商担保贷款的融资模式下, 零售商如何做出最优决策? 更关键的问题是, 供应商如何权衡提供贷款担保所产生的风险与收益, 其最优的担保策略是什么? 资本市场的融资成本以及零售商的资金水平等因素对双方的决策及利润有何影响?

在运营管理领域, 一些学者已经讨论了资金流对生产运营的重要性. Beranek[6]指出, 如果在批量订货模型中忽视企业的资金约束, 往往会导致所求的最优解是不可行的. Hu 等[7]通过数值例子说明在多级(multi-echelon)库存问题中, 如果存在资金约束, 则经典的基本库存策略(base-stock policy)不再是最优的. 由此可见, 资金问题对企业的运营决策有重要的影响, 应将二者结合起来一并考虑.

企业的资金约束与融资方式不仅会影响到自身的决策, 同时也会对供应链合作伙伴的利益与决策造成影响. 很多文献在博弈的框架下分析了各种融资方式对供应链的影响. Kouvelis 等[8]允许零售商向银行借款但存在破产成本, 在批发价格合同的框架下, 研究了供应商和零售商的决策问题. Kouvelis 等[9]对比了零售商向银行融资和零售商向供应商融资这两种融资方式, 认为供应商有意愿向零售商提供融资, 且比银行贷款更便宜. Jing 等[10]在比较银行贷款和商业信用融资时着重分析了上游生产成本对两种融资方式的影响. Yang 等[11]指出当下游零售商面临不确定的需求时, 商业信用融资可以起到风险共担的作用, 从而提高订货量和供应链整体效益. 李荣等[12]研究了延迟支付的融资方式下, 分散式和集中式供应链的决策及均衡解的性质, 分析了风险态度及初始资金等因素的影响. 周咏等[13]在产品的价格和需求都存在不确定性的情况下, 分析了金融机构在存货质押融资方式中的最优质押率决策.

一些学者在供应链协同(coordination)的合约设计问题中引入了资金与融资因素. Dada 等[14]分析了受资金约束的报童与银行之间的 Stackelberg 博弈问题, 并给出了一个使双方利润达到协同的利率制定合约. Kouvelis 等[15]在资金约束的供应链中对需求独立型契约(demand-independent contract)进行了分析, 研究

结果表明由于资金约束和破产成本的存在, 需求独立型契约一般不能实现供应链协同, 而需求依赖型契约(demand-dependent contract)可以实现供应链协同. Xiao 等[16]在商业信用融资中考虑供应商和零售商的破产成本, 分析了收益共享、回购等合约形式的协同效果.

目前, 在供应链金融的相关研究中, 涉及供应链核心企业担保的文献相当有限. 张义刚等[17]针对制造商为下游零售商提供贷款担保的问题, 给出了制造商最优批发价格的求解步骤. 白世贞等[18]将供应商与零售商之间的回购契约视为一种供应商提供的担保, 在零售商存货质押的融资方式下, 研究了供应商回购担保策略对供应链协同的影响. Yan 等[19]假设上游制造商仅对下游零售商的贷款承担部分比例的担保责任, 分别针对垄断型(monopolistic)和竞争型(competitive)资本市场的情形, 分析了各主体的最优决策. 还有一些文献针对下游买方为上游供应商提供担保的情形展开了研究. 王文利等[20]针对供应商存在资金约束的问题, 对比了买方提前订购和买方提供担保两种融资方式. 占济舟等[21]针对供应商存在资金约束的问题, 对比了买方提前付款和买方提供担保两种融资方式. Tunca 等[22]通过对博弈模型的理论分析指出买方担保可以有效地提升供应链绩效, 并通过对实际数据的回归分析说明了买方担保可以降低其采购价格以及提高订货量. 这些文献都没有将供应链核心企业的担保额度作为决策变量, 缺乏对核心企业担保策略的深入研究.

本文针对上游供应商为下游零售商提供贷款担保的融资模式展开研究, 在传统批发价格合同的基础上加入供应商的担保额度决策, 建立了供应商和零售商之间的 Stackelberg 博弈模型, 通过理论分析和数值算例系统地研究了供应商的最优担保策略. 需要指出的是, 本文聚焦于供应商担保的融资成本分担作用, 零售商的订货量并不受自有资金和供应商担保额度的硬性约束, 即供应商担保额度的变化并不改变零售商可贷款的数量, 而是会影响零售商的实际融资成本. 本文在供应商提供有限额度担保的情形下分析了零售商的订货决策, 给出了零售商最优订货量所满足的一阶条件并证明了其唯一性. 在此基础上, 将批发价格和担保额度同时作为供应商的决策变量, 证明了全额担保是供应商的最优担保策略, 并分析了模型参数对均衡订货量和供应商最优期望利润的影响. 此外, 本文还针对供应商可按贷款比例或未偿清贷款的比例限制其担保责任的情形, 分析了零售商和供应商的决策, 证明了全额担保依然是供应商的最优策略.

2 问题描述

一个供应商和一个零售商组成两级供应链, 零售商向供应商采购产品. 零售商面临随机的市场需求 D, 其概率密度函数为 $f(\cdot)$, 累积分布函数为 $F(\cdot)$, 且其失效率 $z(\cdot)=f(\cdot)/\bar{F}(\cdot)$ 为增函数[23], 其中 $\bar{F}(\cdot)=1-F(\cdot)$. 由于市场需求非负, 对任意的 $x\leqslant 0$ 均有 $\bar{F}(x)=1$. 供应商的单位生产成本为 c, 而产品的市场价格为 p. 在市场需求被观测到之前, 供应商需要决定批发价格 w, 然后由零售商决定其订货量 q. 零售商的自有资金为 η, 在必要的时候, 零售商可以向银行借款以提高订货量. 供应商为零售商的贷款提供担保, 担保额度为 S, 即供应商因提供贷款担保而承担的损失不超过 S. 在市场需求到来之后, 零售商用销售收入尽量偿还贷款. 若零售商的销售收入未能偿清贷款本息, 则供应商需要在担保额度之内偿还剩余部分. 供应商与零售商都是风险中性的决策者, 其目标是最大化各自的期望利润 $\varPi$ 和 π.

资本市场是充分竞争的, 其无风险利率(risk-free interest rate)为 r_{f}, 它反映了资本市场中资本的回报率. 银行贷款的利率是在完全竞争下产生的(competitively priced), 因此, 银行会根据贷款的数量与风险制定贷款利率 r 使其期望回报率等于无风险利率. 另一方面, 供应商和零售商同样可以将资金投入资本市场按无风险利率获取回报, 所以供应商和零售商的资金机会成本均为 r_{f}. 显然, 批发价格 w 应满足 $c(1+r_{\mathrm{f}})\leqslant w(1+r_{\mathrm{f}})\leqslant p$. 上述对银行利率与资金机会成本的假设与许多现有文献(例如文献[8, 9, 11])是一致的.

总而言之, 零售商是资金约束的报童, 在必要时可以按照无风险利率得到银行贷款并由供应商提供担保. 供应商和零售商之间进行 Stackelberg 博弈, 先由供应商决定批发价格 w 和贷款担保额度 S, 然后由零售商决定订货量 q 和相应的贷款数量. 为叙述方便, 对任意的实数 x 和 y, 定义运算符号 $x^{+}=\max(x,0)$,

$x \wedge y = \min(x, y)$. 表1列出了本文将要使用的主要符号.

表 1　符号及其意义

Table 1　Notations and their meanings

符号	意义	符号	意义
c	生产成本	ρ	$\rho = (wq - \eta)(1 + r)/p$, 满足 $\rho < q$
p	市场售价	a	$a = \eta(1 + r_{\mathrm{f}})/p$
η	零售商的自有资金	D	随机的市场需求
r_{f}	无风险利率	$f(\cdot)$	需求D的概率密度函数
w	批发价格, 满足 $c(1 + r_{\mathrm{f}}) \leqslant w(1 + r_{\mathrm{f}}) \leqslant p$	$F(\cdot)$	需求D的概率分布函数, $F(0) = 0$
q	订货量	$\bar{F}(\cdot)$	$\bar{F}(x) = 1 - F(x)$
r	银行贷款的利率	$z(\cdot)$	$z(x) = f(x)/\bar{F}(x)$, 增函数
S	供应商的担保额度	π	零售商的期望利润
s	$s = S/p$	Π	供应商的期望利润

3　零售商的决策

在经典报童模型中, 零售商的最优订货量为 $\bar{F}^{-1}\left(w(1 + r_{\mathrm{f}})/p\right)$. 但若零售商的自有资金 η 不足以支付全部采购成本, 则零售商可以向银行借款以增大订货量. 当零售商的订货量为 q 时, 零售商的借款数量为 $wq - \eta$, 应偿还的本息之和为 $(wq - \eta)(1 + r)$. 零售商承担有限责任, 当零售商的销售收入 $p\min(q, D)$ 不足以还清贷款时, 其最终收益为零. 零售商的期望利润为

$$\pi = \mathrm{E}\left[\left[p\min(q, D) - (wq - \eta)(1 + r)\right]^{+} - \eta(1 + r_{\mathrm{f}})\right]. \tag{1}$$

银行贷款的还款来源包括零售商的销售收入 $p\min(q, D)$ 与供应商的担保额度 S. 银行贷款的期望回报率等于无风险利率 r_{f}, 银行需根据零售商贷款额的变化调整其实际利率 r, 即 r 需满足

$$\mathrm{E}\left[\min\left\{p\min(q, D) + S, (wq - \eta)(1 + r)\right\}\right] = (wq - \eta)(1 + r_{\mathrm{f}}).$$

为方便表述, 设 $\rho = (wq - \eta)(1 + r)/p$ 以及 $s = S/p$, 则上式可写为

$$\int_0^{\rho - s} \bar{F}(x)\mathrm{d}x + s = (wq - \eta)(1 + r_{\mathrm{f}})/p. \tag{2}$$

将 ρ 代入式(1), 则对于给定的 w 和 s, 零售商的决策问题为

$$\operatorname*{Max}_{q} \pi = p\int_{\rho}^{q} \bar{F}(x)\mathrm{d}x - \eta(1 + r_{\mathrm{f}}), \tag{3}$$

其中 ρ 和 q 的关系由式(2)确定.

定理 1　对于给定的 w 和 s, π 是 q 的拟凹(quasi-concave)函数, 零售商的最优订货量 q^* 是唯一的且是下列方程的解.

$$\bar{F}(q) = \frac{w(1 + r_{\mathrm{f}})}{p}\frac{\bar{F}(\rho)}{\bar{F}(\rho - s)}, \tag{4}$$

其中 ρ 满足式(2). 当 $\bar{F}(\eta/w) \leqslant w(1 + r_{\mathrm{f}})/p$ 时, 零售商不会借款; 当 $\bar{F}(\eta/w) > w(1 + r_{\mathrm{f}})/p$ 时, 零售商会借款.

证明　对式(2)运用隐函数定理, 得到 $\dfrac{\mathrm{d}\rho}{\mathrm{d}q} = \dfrac{w(1 + r_{\mathrm{f}})}{p\bar{F}(\rho - s)}$. 据此可得 π 对 q 的导数为

$$\frac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q} = p\left[\bar{F}(q) - \bar{F}(\rho)\frac{\mathrm{d}\rho}{\mathrm{d}q}\right] = p\bar{F}(q) - w(1 + r_{\mathrm{f}})\frac{\bar{F}(\rho)}{\bar{F}(\rho - s)}.$$

根据式(2)可知 $\rho < q$, 则 $\bar{F}(\rho) > \bar{F}(q)$. 所以, 当 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q} = 0$ 时必有 $\bar{F}(\rho - s) > w(1 + r_{\mathrm{f}})/p$. $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q} = 0$ 等价

于 $\ln\bar{F}(q)+\ln\bar{F}(\rho-s)-\ln\bar{F}(\rho)=\ln\dfrac{w(1+r_{\mathrm{f}})}{p}$, 该等式左边的导数 $\dfrac{w(1+r_{\mathrm{f}})}{p}\dfrac{z(\rho)-z(\rho-s)}{\bar{F}(\rho-s)}-z(q)$ 为负, 因此 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}=0$ 有唯一解且 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}$ 为先正后负, 即可得 π 是 q 的拟凹函数. 若 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}=0$ 的解满足 $q\leqslant\eta/w$, 则零售商不需要借款, 在 $q=\eta/w$ 处必然有 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}\leqslant 0$, 即 $\bar{F}(\eta/w)\leqslant w(1+r_{\mathrm{f}})/p$. 反之, 则零售商的最优订货量满足 $q^*>\eta/w$, 零售商需要借款. 证毕.

需要指出的是, 当 $\rho\leqslant 0$ 时式(1)化为 $\pi=\mathrm{E}\,[p\min(q,D)-wq(1+r_{\mathrm{f}})]$; 与此同时, $F(\rho)=0$ 且式(4)化为 $\bar{F}(q)=w(1+r_{\mathrm{f}})/p$. 因此, 定理 1 以及式(3)和式(4)同时包含了零售商借款与不借款的情形.

定理 1 说明对于给定的批发价格和担保额度, 零售商的期望利润是其订货量的单峰函数, 随着订货量的增大而先增后减. 因此, 对于给定的批发价格和担保额度, 其最优订货量是唯一的. 当自有资金较多时, 零售商不会借款, 零售商面临经典的报童问题; 当自有资金较少时, 零售商才会借款.

在分析零售商订货量的性质之前, 先定义函数 $\varphi(\rho)$ 如下

$$\varphi(\rho)=\left(\int_0^{\rho-s}\bar{F}(x)\mathrm{d}x+s+a\right)\left((\rho+a)\bar{F}(\rho-s)\right)^{-1},\tag{5}$$

其中 $a=\eta(1+r_{\mathrm{f}})/p$.

下面给出此函数的性质, 然后利用该性质分析零售商的最优订货量关于参数的单调性.

引理 1 对给定的 s 和 a, $\varphi(\rho)$ 是 ρ 的增函数, 且对任意的 ρ 均有 $\varphi(\rho)\geqslant 1$.

证明 易验证, 当 $\rho\leqslant s$ 时 $\varphi(\rho)=1$, 当 $\rho\geqslant s$ 时 $\varphi(\rho)$ 的导数为

$$\varphi'(\rho)=\frac{(\rho+a)\bar{F}(\rho-s)-(1-(\rho+a)z(\rho-s))\left(\int_0^{\rho-s}\bar{F}(x)\mathrm{d}x+s+a\right)}{(\rho+a)^2\bar{F}(\rho-s)},$$

其分子的导数为 $(z(\rho-s)+(\rho+a)z'(\rho-s))\left(\int_0^{\rho-s}\bar{F}(x)\mathrm{d}x+s+a\right)$ 且 $\varphi'(s)=z'(0)\geqslant 0$. 据此可知, 当 $\rho\geqslant s$ 时有 $\varphi'(\rho)\geqslant 0$. 综上所述, $\varphi(\rho)$ 是 ρ 的增函数且有 $\varphi(\rho)\geqslant 1$. 证毕.

定理 2 在零售商的决策问题中, 对给定的 s, 零售商的最优订货量 q^*是 p 的增函数, 是 w, r_{f}, η 的减函数.

证明 利用式(2)可知 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}=0$ 等价于 $q\bar{F}(q)=\varphi(\rho)(\rho+a)\bar{F}(\rho)$.

根据 $z(\cdot)$的单调性可知 $\ln\left((x+a)\bar{F}(x)\right)=\ln(x+a)+\ln\bar{F}(x)$是凹函数, 因此 $(x+a)\bar{F}(x)$是 x 的拟凹函数. 由 $\rho<q$ 易知, 若 ρ 在 $(x+a)\bar{F}(x)$的递减区间则必有 $q\bar{F}(q)<(q+a)\bar{F}(q)<(\rho+a)\bar{F}(\rho)\leqslant\varphi(\rho)(\rho+a)\bar{F}(\rho)$, 该不等式与 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}=0$ 矛盾. 因此, 当 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}=0$ 时 ρ 在 $(x+a)\bar{F}(x)$ 的递增区间, $\varphi(\rho)(\rho+a)\bar{F}(\rho)$ 是 ρ 的增函数. 据此可得 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}$ 是 w 的减函数, π 是关于 $(q,-w)$ 的超模(supermodular)函数. 根据 Topkis[24]关于超模函数的结论可知 q^*是 w 的减函数.

下面证明 q^*关于 η 的单调性. 回顾定理 1 的证明过程可知 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}=p\bar{F}(q)-w(1+r_{\mathrm{f}})\dfrac{\bar{F}(\rho)}{\bar{F}(\rho-s)}$. 考察式(2)可知, 对固定的 q 和 s, 当 η 增大时 ρ 会减小. 由于 $\ln\bar{F}(\cdot)$ 是凹函数, 具有递减差分(decreasing difference)的性质[25], 因此 $\ln\bar{F}(\rho)-\ln\bar{F}(\rho-s)$ 是 ρ 的减函数, 即 $\dfrac{\bar{F}(\rho)}{\bar{F}(\rho-s)}$ 是 ρ 的减函数.

综上所述, 对固定的 q 和 s, $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}$ 是 η 的减函数, 最优订货量 q^*是 η 的减函数. 其它结论可用类似的方法证明. 证毕.

上述定理说明零售商的最优订货量随着产品价格的增大而增大, 随着批发价格、无风险利率、零售商自有资金的增大而减小. 值得说明的是, 零售商需要先投入其自有资金用于订货, 若自有资金不足时再去向银

行借款. 由于零售商承担有限责任, 其自有资金就是它所承担损失的上限. 另外, 银行贷款优先由零售商自身偿还, 然后由供应商在担保额度范围内偿还. 银行贷款的期望回报率始终维持不变, 当零售商的自有资金增大时, 零售商自身承担了更多的风险, 也就是其潜在的边际成本增大了, 这就促使零售商减小其订货量. 因此, 零售商的最优订货量是其自有资金的减函数.

4　供应商的决策

供应商的盈亏来自两个部分, 一是产品的批发销售利润, 二是贷款担保产生的支出. 在销售季节之前, 供应商获得批发销售利润 $(w-c)q$. 考虑销售季节的资金机会成本, 供应商从零售商获得的批发销售利润应视为 $(w-c)q(1+r_{\rm f})$. 在销售季节之后, 若零售商的销售收入 $p\min(q,D)$ 无法偿清贷款本息 $(wq-\eta)(1+r)$, 则供应商需要在担保额度之内偿还余下的部分.

零售商未能偿还的贷款数额为 $[(wq-\eta)(1+r)-p\min(q,D)]^+$, 而供应商的担保额度为 S. 因此, 供应商因提供贷款担保而产生的支出是 $\min\Big(S,[(wq-\eta)(1+r)-p\min(q,D)]^+\Big)$.

将 $\rho=(wq-\eta)(1+r)/p$ 和 $s=S/p$ 代入, 供应商在销售季节之后的总期望利润可写为

$$\Pi=\mathrm{E}\left[(w-c)q(1+r_{\rm f})-p\min\left(s,(\rho-q\wedge D)^+\right)\right].$$

供应商需要决定批发价格和担保额度, 并考虑到其决策对零售商订货量的影响, 如定理 1 中式(4)所示. 供应商的问题可写为

$$\begin{cases}\underset{w,s}{\mathrm{Max}}\,\Pi=(w-c)q(1+r_{\rm f})-p\displaystyle\int_{\rho-s}^{\rho}F(x)\mathrm{d}x\\ \text{s.t.}\\ \qquad \bar F(q)=\dfrac{w(1+r_{\rm f})}{p}\dfrac{\bar F(\rho)}{\bar F(\rho-s)}\\ \qquad \displaystyle\int_0^{\rho-s}\bar F(x)\mathrm{d}x+s=(wq-\eta)(1+r_{\rm f})/p.\end{cases}$$

将目标函数与约束条件进行转化, 供应商的问题可等价地写为

$$\begin{cases}\underset{\rho,s,q}{\mathrm{Max}}\,\Pi=p\displaystyle\int_0^{\rho}\bar F(x)\mathrm{d}x-(cq-\eta)(1+r_{\rm f})\\ \text{s.t.}\quad q\bar F(q)=\left(\displaystyle\int_0^{\rho-s}\bar F(x)\mathrm{d}x+s+a\right)\dfrac{\bar F(\rho)}{\bar F(\rho-s)}.\end{cases}\tag{6}$$

记供应商与零售商的均衡解为 $[(w^*,s^*),q^*]$. 当 s 为充分大的正数时, 供应商的担保额度足够大, 保证银行能全部收回贷款本息, 供应商提供了全额担保或者说无限担保, 记为 $s=+\infty$. 若对给定的 s, 供应商优化其批发价格 w, 记相应的供应商期望利润为 $\Pi(s)$, 则有如下结论.

定理 3　对任意的 $s\geqslant 0$, 均有 $\Pi(s)\leqslant\Pi(+\infty)$, 因此 $s^*=+\infty$.

证明　根据优化问题式(6)中的目标函数可知, 对给定的 ρ 和 s, q 越小越好. 对供应商而言, 最优的 q 必然处于拟凹函数 $x\bar F(x)$ 的递增区间, 因此可行域可限定在 $q\bar F(q)$ 的增区间. 优化问题式(6)中的约束条件可写为 $q\bar F(q)=\varphi(\rho)(\rho+a)\bar F(\rho)$. 回顾引理1 的结论可知 $\varphi(\rho)\geqslant 1$ 且当 $s=+\infty$ 时有 $\varphi(\rho)=1$.

换言之, 对给定的 ρ, 当 $s=+\infty$ 时 q 的值最小, 优化问题式(6)的目标函数值最大, 因此 $\Pi(s)\leqslant\Pi(+\infty)$.　证毕.

上述定理表明, 供应商的最优担保策略是提供全额担保, 这是非常强有力的结论. 对供应商而言, 不提供担保($s=0$)或者对提供有限担保均不会好于全额担保, 供应商没有必要对担保数额做出限制. 银行按照无风险利率对贷款收取利息, 保证其期望回报率为 $r_{\rm f}$. 供应商担保并未降低供应链整体的融资成本, 但供应商需要承担市场不确定的风险, 改变了融资成本在供应商和零售商之间的分配, 是一种风险共担机制. 供应商

提供贷款担保可降低零售商的实际贷款利率, 即降低零售商的融资成本, 可促使零售商提高订货量, 从而提高供应商的期望利润. 当供应商保证银行能收回全部贷款本息时, 零售商的借款利率降至最低, 供应商担保充分发挥了对融资成本的分担作用. 因而, 提供全额担保对供应商是最有利的.

根据定理 2, 对于给定的 s, q 是 w 的单调减函数, 在分析供应商的决策问题时, 可以将 q 视为决策变量. 已知供应商关于担保额度的最优决策为 $s=+\infty$, 将其代入式(6)即可得

$$\begin{cases}\underset{\rho,q}{\mathrm{Max}}\, \mathit{\Pi} = p\int_0^{\rho}\bar{F}(x)\mathrm{d}x-(cq-\eta)(1+r_{\mathrm{f}})\\ \text{s.t.}\quad q\bar{F}(q)=(\rho+a)\bar{F}(\rho).\end{cases} \tag{7}$$

定理 4 在供应商的决策问题中: 1) $\mathit{\Pi}^*$是 c, r_{f}, η 的减函数, 是 p 的增函数; 2) q^*是 c, r_{f}, η 的减函数, 是 p 的增函数.

证明 对优化问题式(7)中的约束条件运用隐函数求导法则, 得到 $\dfrac{\partial\rho}{\partial a}=-\dfrac{1}{1-(\rho+a)z(\rho)}$, 因此

$$\frac{\partial \mathit{\Pi}}{\partial a}=p\left(\bar{F}(\rho)\frac{\partial\rho}{\partial a}+1\right)=p\left(1-\frac{\bar{F}(\rho)}{1-(\rho+a)z(\rho)}\right).$$

定义函数 $\phi(\rho)=(\rho+a)z(\rho)-F(\rho)$, 其导数 $\phi'(\rho)=(\rho+a)z'(\rho)+z(\rho)-f(\rho)>0$, $\phi(\rho)$ 在负半轴恒等于0, 因此对任意的 ρ 均有 $\phi(\rho)\geqslant\phi(0)\geqslant 0$. 据此易知 $\dfrac{\partial \mathit{\Pi}}{\partial a}\leqslant 0$, $\mathit{\Pi}^*$是 a 的减函数, 即为 η 的减函数.

对优化问题式(7)中的约束条件运用隐函数求导法则可得 $\dfrac{\partial\rho}{\partial q}=\dfrac{\bar{F}(q)-qf(q)}{\bar{F}(\rho)-(\rho+a)f(\rho)}$, 因此

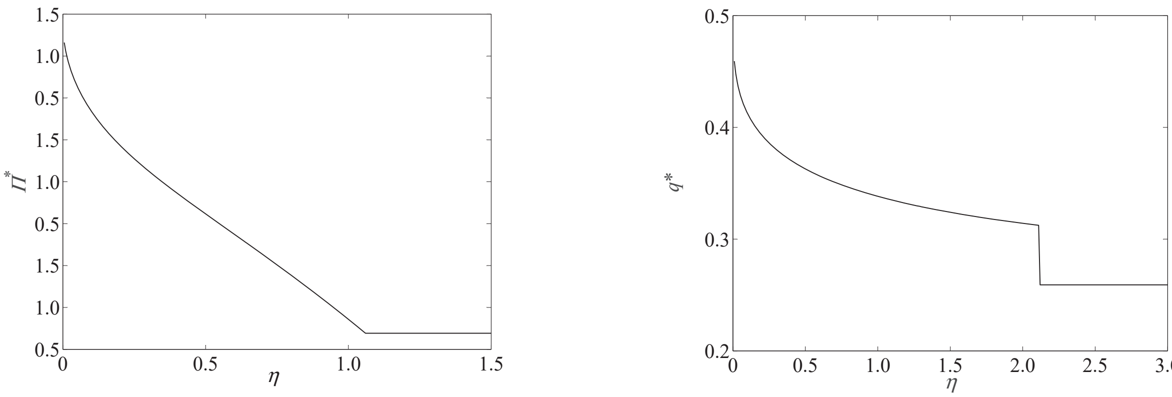
$$\frac{\mathrm{d}\mathit{\Pi}}{\mathrm{d}q}=p\frac{\bar{F}(q)-qf(q)}{1-(\rho+a)z(\rho)}-c(1+r_{\mathrm{f}}).$$

回顾定理 2 的证明过程可知, ρ 处于拟凹函数 $(x+a)\bar{F}(x)$ 的递增区间, $(\rho+a)\bar{F}(\rho)$ 可视为 ρ 的增函数. 考察优化问题式(7)中的约束条件, 若固定 q 不变, 则 $(\rho+a)\bar{F}(\rho)$ 不变, 当 a 增大时 ρ 和 $\rho+a$ 都会减小. 因此, $\dfrac{\mathrm{d}\mathit{\Pi}}{\mathrm{d}q}$ 是 a 的减函数, $\mathit{\Pi}$ 是关于 $(q,-a)$ 的超模函数. 根据 Topkis[24]的结论可知 q^*是 a 的减函数, 即 q^*是 η 的减函数.

$\mathit{\Pi}^*$和 q^*关于其他参数的单调性可用类似方法证明. 证毕.

上述定理说明零售商均衡订货量和供应商的最优期望利润会随着生产成本、无风险利率、零售商自有资金的增大而减小, 随着产品价格的增大而增大. 根据定理 2, 对于给定的担保额度 s 和批发价格 w, 当零售商的自有资金 η 减小时, 其订货量增大, 这种效应在零售商和供应商的 Stackelberg 博弈中依然存在. 当零售商的订货量增大时, 供应商的批发销售利润会增大, 同时也会承担更大的风险. 但由于供应商处于强势地位, 可通过调节批发价格影响零售商的决策, 最终使自身从中获利. 所以, 零售商的自有资金减小会导致供应商的利润增大.

设 $c=5, p=11, r_{\mathrm{f}}=0.06$, 需求服从区间[0, 1]上的均匀分布, 即 $D\sim U[0,1]$. 图 1 表示该数值例子中零售商自有资金 η 的变化对供应商利润和均衡订货量的影响. 图 1 与定理 4 的结论是一致的, 即 $\mathit{\Pi}^*$和 q^*都是 η 的减函数. 如前文所述, 供应商可通过调节批发价格 w 改变零售商的订货量 q 以及是否借款的决策, 在分析供应商的决策问题时可将 q 视为决策变量. 需要指出的是, 供应商的期望利润 $\mathit{\Pi}$ 不一定是订货量 q 的单峰函数, 而是分别在零售商借款(订货量 q 较大)和不借款(订货量 q 较小)的区间内有各自的局部极大值点. 供应商需要比较两个区间内自身的期望利润, 确定最优的 q 值. 当零售商的自有资金 η 增大到一定程度时, 不借款区间内 $\mathit{\Pi}$ 的最大值超过借款区间内 $\mathit{\Pi}$ 的最大值, 供应商的最优策略发生突变, 此时零售商的策略从借款变为不借款, 相应地均衡订货量发生跳跃式下降. 因此, 可以看到, 图中曲线明显分为两段: 零售商的自有资金 η 较小时, 在 Stackelberg 均衡处零售商需要向银行借款; 随着零售商的自有资金 η 增大到一定程度, 在 Stackelberg 均衡处零售商不再借款, 此后供应商利润和均衡订货量不再随着 η 的增大而发生变化.



(a) 供应商利润　　(b) 均衡订货量

(a) Supplier's profit　　(b) Order quantity at equilibrium

图 1　零售商资金对供应商利润及均衡订货量的影响

Fig. 1　Impact of the retailer's capital on the supplier's profit and the order quantity at equilibrium

供应商的决策包括批发价格和担保额度, 这两个决策可能是由企业内部的不同部门分别决定的, 因而不能协调以达到问题(6)的全局最优. 例如, 批发价格由市场部门决定而担保额度由财务部门决定. 供应商也有可能由于市场竞争的原因, 或者为了避免对不同经销商的歧视定价, 不能随意调整其产品批发价格. 对给定的批发价格, 全额担保额度不一定是最优的. 设 $c=5, p=11, r_{\mathrm{f}}=0.06$, 需求服从参数为 1 的指数分布, 即 $D\sim\mathrm{Exp}(1)$. 图 2表示该数值例子中, 对给定的批发价格, 供应商期望利润 Π 随担保额度 s 的变化. 可以看到, 最优的担保额度与批发价格相关. 当批发价格较低时, 供应商的销售边际利润较低, 而零售商的订货量和贷款数量较大, 供应商提供充分大的担保额度会使自身承担过多的风险, 损害自身利益. 因此, 当批发价格为外生变量而不是决策变量时, 全额担保不一定是供应商的最优担保策略, 供应商可能需要对担保额度做出限制以控制风险, 提高自身期望利润.

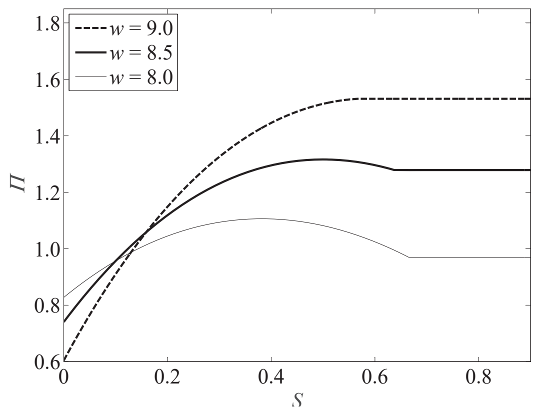


图 2　对给定的 w, 供应商利润随担保额度的变化

Fig. 2　Impact of the guarantee amount on the supplier's profit for a given w

5　限制担保比例

前述的有限担保机制中, 供应商限制其最大还款数量, 可称为有限数量担保. 本节将讨论有限比例担保, 供应商可按零售商贷款总量的比例或零售商未偿清贷款量的比例对其担保责任进行限制.

5.1　按贷款总量的比例限制担保责任

供应商可按贷款总量的比例限定其担保范围, 即供应商为零售商向银行还款的数量不超过贷款本息之和的一定比例. 设供应商的担保比例为 $1-\alpha$, 其中 $\alpha\in[0,1]$. 当 $\alpha=0$ 时, 供应商提供全额担保;

当 $\alpha=1$ 时, 供应商不提供担保. 贷款本息之和为 $(wq-\eta)(1+r)$, 则供应商因提供贷款担保而承担的损失不超过 $(1-\alpha)(wq-\eta)(1+r)$. 银行回收贷款的来源包括零售商的销售收入 $p\min(q,D)$ 与供应商的担保 $(1-\alpha)(wq-\eta)(1+r)$. 银行需根据零售商的贷款数量调整其实际利率 r, 使其贷款的期望回报率等于无风险利率 r_{f}. 运用变量代换 $\rho=(wq-\eta)(1+r)/p$, 则 r 满足

$$\mathrm{E}\left[p\min\left((1-\alpha)\rho+\min(q,D),\rho\right)\right]=(wq-\eta)(1+r_{\mathrm{f}}).$$

结合式(1)定义的零售商期望利润, 零售商的决策问题为

$$\operatorname*{Max}_{q}\pi=p\int_{\rho}^{q}\bar{F}(x)\mathrm{d}x-\eta(1+r_{\mathrm{f}}).$$

其中 ρ 和 q 之间的关系为

$$\rho-\int_{0}^{\alpha\rho}F(x)\mathrm{d}x=(wq-\eta)(1+r_{\mathrm{f}})/p. \tag{8}$$

定理 5 对于给定的 w 和 α, π 是 q 的拟凹函数, 零售商的最优订货量 q^{*}是唯一的且是下列方程的解.

$$\bar{F}(q)=\frac{w(1+r_{\mathrm{f}})}{p}\frac{\bar{F}(\rho)}{1-\alpha F(\alpha\rho)},$$

其中 ρ 满足式(8). 当 $\bar{F}(\eta/w)\leqslant w(1+r_{\mathrm{f}})/p$ 时, 零售商不会借款; 当 $\bar{F}(\eta/w)>w(1+r_{\mathrm{f}})/p$ 时, 零售商会借款.

证明 根据 $\rho<q$, 当 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}=0$ 时必有 $1-\alpha F(\alpha\rho)\geqslant w(1+r_{\mathrm{f}})/p$. $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}=0$ 等价于 $\ln\bar{F}(q)+\ln(1-\alpha F(\alpha\rho))-\ln\bar{F}(\rho)=\ln\dfrac{w(1+r_{\mathrm{f}})}{p}$, 该等式左边的导数 $\dfrac{w(1+r_{\mathrm{f}})}{p}\dfrac{1}{1-\alpha F(\alpha\rho)}\left(z(\rho)-\dfrac{\alpha^{2}f(\alpha\rho)}{1-\alpha F(\alpha\rho)}\right)-z(q)$ 为负, 因此 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}=0$ 有唯一解且 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}$ 为先正后负, 即可得 π 是 q 的拟凹函数. 若 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}=0$ 的解满足 $q\leqslant\eta/w$, 则零售商在最优决策下不需要借款, 在 $q=\eta/w$ 处必然有 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}\leqslant0$, 即 $\bar{F}(\eta/w)\leqslant w(1+r_{\mathrm{f}})/p$. 反之, 则 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}=0$ 的解满足 $q>\eta/w$, 零售商在最优决策下需要借款. 证毕.

零售商未能偿还的贷款数量为 $p[\rho-\min(q,D)]^{+}$, 而供应商的担保上限为 $p(1-\alpha)\rho$, 因此供应商因担保责任而承担的损失为 $p\min\left\{(1-\alpha)\rho,[\rho-\min(q,D)]^{+}\right\}$. 供应商的期望利润为

$$\mathit{\Pi}=\mathrm{E}\left[(w-c)q(1+r_{\mathrm{f}})-p\min\left((1-\alpha)\rho,[\rho-q\wedge D]^{+}\right)\right].$$

供应商需要决定担保比例 $1-\alpha$ 和批发价格 w, 并考虑到其决策对零售商订货量的影响, 如定理 5 所示. 供应商的决策问题为

$$\begin{cases}\operatorname*{Max}_{w,\alpha}\mathit{\Pi}=(w-c)q(1+r_{\mathrm{f}})-p\displaystyle\int_{\alpha\rho}^{\rho}F(x)\mathrm{d}x\\ \text{s.t.}\\ \qquad\bar{F}(q)=\dfrac{w(1+r_{\mathrm{f}})}{p}\dfrac{\bar{F}(\rho)}{1-\alpha F(\alpha\rho)}\\ \qquad\rho-\displaystyle\int_{0}^{\alpha\rho}F(x)\mathrm{d}x=(wq-\eta)(1+r_{\mathrm{f}})/p.\end{cases}$$

将目标函数与约束条件进行转化, 供应商的问题可等价地写为

$$\begin{cases}\operatorname*{Max}_{\rho,\alpha,q}\mathit{\Pi}=p\displaystyle\int_{0}^{\rho}\bar{F}(x)\mathrm{d}x-(cq-\eta)(1+r_{\mathrm{f}})\\ \text{s.t.}\quad q\bar{F}(q)=\left(\rho-\displaystyle\int_{0}^{\alpha\rho}F(x)\mathrm{d}x+a\right)\dfrac{\bar{F}(\rho)}{1-\alpha F(\alpha\rho)}.\end{cases} \tag{9}$$

对给定的 α, 供应商优化其批发价格 w, 记相应的供应商期望利润为 $\mathit{\Pi}(\alpha)$, 则有如下结论.

定理 6　对任意的 $\alpha \in [0,1]$, 均有 $\Pi(\alpha) \leqslant \Pi(0)$, 因此 $\alpha^* = 0$.

证明　根据优化问题式(9)中的目标函数可知, 对给定的 ρ 和 α, q 越小越好, 最优的 q 必然处于拟凹函数 $x\bar{F}(x)$ 的递增区间, 因此 $q\bar{F}(q)$ 可视为 q 的增函数. 易知 $\rho - \int_0^{\alpha\rho} F(x)\mathrm{d}x + a \geqslant (\rho + a)(1 - \alpha F(\alpha\rho))$, 当 $\alpha = 0$ 时等号成立. 考察优化问题式(9)中的约束条件可知, 任意的可行解均满足 $q\bar{F}(q) \geqslant (\rho + a)\bar{F}(\rho)$, 且当 $\alpha = 0$ 时等号成立. 对给定的 ρ, $\alpha = 0$ 时 q 可取最小的值, 目标函数可取最大的值.　证毕.

上述定理表明, 当供应商可以按贷款总量的比例限制其担保责任时, 供应商的最优策略是提供全额担保, 与定理3的结论类似. 供应商担保是一种风险共担机制, 供应商通过提供全额担保, 降低零售商的融资成本并提高其订货量, 从而使自身期望利润最大化.

5.2　按未偿清贷款量的比例限制担保责任

有限比例担保的另外一种形式是, 当零售商未能偿清贷款本息时, 供应商需要偿还剩余部分的一定比例. 设该比例为 $1 - \beta$, 其中 $\beta \in [0,1]$. Yan 等[19]的模型采用了类似的假设, 但担保比例不是决策变量. 当 $\beta = 0$ 时, 供应商会偿清所有剩余部分, 相当于提供全额担保; 当 $\beta = 1$ 时, 供应商完全不需要偿还贷款, 相当于不提供担保. 贷款本息之和为 $(wq - \eta)(1 + r)$, 零售商的销售收入为 $p\min(q, D)$. 运用变量代换 $\rho = (wq - \eta)(1 + r)/p$, 则零售商的实际还款数量为 $p(\min(q, D) \wedge \rho)$, 供应商的实际还款数量为 $(1 - \beta)p[\rho - \min(q, D)]^+$, 零售商和供应商还款的数量之和即为银行回收贷款的数量. 银行需根据零售商的贷款数量调整其实际利率 r, 使其贷款的期望回报率等于无风险利率 r_f, 因此 r 满足如下等式

$$\mathrm{E}\left[[\min(q, D) \wedge \rho] + (1 - \beta)[\rho - \min(q, D)]^+\right] = (wq - \eta)(1 + r_\mathrm{f})/p.$$

结合式(1)定义的零售商期望利润, 零售商的决策问题为 $\mathrm{Max}_q\, \pi = p\int_\rho^q \bar{F}(x)\mathrm{d}x - \eta(1 + r_\mathrm{f})$, 其中 ρ 和 q 之间的关系为

$$\rho - \beta\int_0^\rho F(x)\mathrm{d}x = (wq - \eta)(1 + r_\mathrm{f})/p. \tag{10}$$

定理 7　对于给定的 w 和 β, π 是 q 的拟凹函数, 零售商的最优订货量 q^*是唯一的且是下列方程的解.

$$\bar{F}(q) = w(1 + r_\mathrm{f})\bar{F}(\rho)/\left(p(1 - \beta F(\rho))\right)$$

其中 ρ 满足式(10). 当 $\bar{F}(\eta/w) \leqslant w(1 + r_\mathrm{f})/p$ 时, 零售商不会借款; 当 $\bar{F}(\eta/w) > w(1 + r_\mathrm{f})/p$ 时, 零售商会借款.

证明　根据 $\rho < q$, 当 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q} = 0$ 时必有 $1 - \beta F(\rho) \geqslant w(1 + r_\mathrm{f})/p$. $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q} = 0$ 等价于 $\ln\bar{F}(q) + \ln(1 - \beta F(\rho)) - \ln\bar{F}(\rho) = \ln\dfrac{w(1 + r_\mathrm{f})}{p}$, 该等式左边的导数 $\dfrac{w(1 + r_\mathrm{f})}{p}\dfrac{1}{1 - \beta F(\rho)}\left(z(\rho) - \dfrac{\beta f(\rho)}{1 - \beta F(\rho)}\right) - z(q)$ 为负, 因此 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q} = 0$ 有唯一解且 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q}$ 为先正后负, 即可得 π 是 q 的拟凹函数. 若 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q} = 0$ 的解满足 $q \leqslant \eta/w$, 则零售商的最优决策是不借款, 在 $q = \eta/w$ 处必有 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q} \leqslant 0$, 即 $\bar{F}(\eta/w) \leqslant w(1 + r_\mathrm{f})/p$. 反之, 则 $\dfrac{\mathrm{d}\pi}{\mathrm{d}q} = 0$ 的解满足 $q > \eta/w$. 零售商在最优决策下需要借款.　证毕.

供应商的销售利润为 $(w - c)q(1 + r_\mathrm{f})$, 因担保而承担的损失为 $(1 - \beta)p[\rho - \min(q, D)]^+$, 则供应商的期望利润为 $\Pi = \mathrm{E}\left[(w - c)q(1 + r_\mathrm{f}) - (1 - \beta)p[\rho - \min(q, D)]^+\right]$.

供应商需要决定担保比例 $1 - \beta$ 和批发价格 w, 并考虑到其决策对零售商订货量的影响, 如定理 7 所示. 供应商的决策问题为

$$\begin{cases} \underset{w,\beta}{\mathrm{Max}}\, \Pi = (w - c)q(1 + r_\mathrm{f}) - (1 - \beta)p\displaystyle\int_0^\rho F(x)\mathrm{d}x \\ \text{s.t.} \\ \qquad \bar{F}(q) = \dfrac{w(1 + r_\mathrm{f})}{p}\dfrac{\bar{F}(\rho)}{1 - \beta F(\rho)} \\ \qquad \rho - \beta\displaystyle\int_0^\rho F(x)\mathrm{d}x = (wq - \eta)(1 + r_\mathrm{f})/p. \end{cases}$$

将目标函数与约束条件进行转化, 供应商的问题可等价地写为

$$\begin{cases} \underset{\rho,\beta,q}{\text{Max}}\, \Pi = p\int_0^{\rho} \bar{F}(x)\mathrm{d}x - (cq-\eta)(1+r_{\mathrm{f}}) \\ \text{s.t.} \quad q\bar{F}(q) = \left(\rho - \beta\int_0^{\rho} F(x)\mathrm{d}x + a\right)\dfrac{\bar{F}(\rho)}{1-\beta F(\rho)}. \end{cases} \tag{11}$$

对给定的 β, 供应商优化其批发价格 w, 记相应的供应商期望利润为 $\Pi(\beta)$, 则有如下结论.

定理 8 对任意的 $\beta \in [0,1]$, 均有 $\Pi(\beta) \leqslant \Pi(0)$, 因此 $\beta^* = 0$.

证明 回顾定理 6 的证明过程, $q\bar{F}(q)$ 可视为 q 的增函数. 根据 $F(x)$ 为增函数和 $0 \leqslant F(x) \leqslant 1$ 易知 $\rho - \beta\int_0^{\rho} F(x)\mathrm{d}x + a \geqslant (\rho+a)(1-\beta F(\rho))$, 当 $\beta = 0$ 时等号成立. 考察优化问题式(11)中的约束条件可知, 任意的可行解均满足 $q\bar{F}(q) \geqslant (\rho+a)\bar{F}(\rho)$, 且当 $\beta = 0$ 时等号成立. 对给定的 ρ, $\beta = 0$ 时 q 可取最小的值, 目标函数可取最大的值. 证毕.

上述定理表明, 当供应商可以按照未偿清贷款的比例限制其担保责任时, 供应商的最优策略是提供全额担保. 定理 6 和定理 8 的结论表明, 在两种有限比例担保的机制中, 供应商的决策问题都会退化为问题(7), 因此定理4 的结论依然成立.

6 结束语

本文研究了供应商担保融资下供应商和零售商的 Stackelberg 博弈问题, 分析了供应商和零售商的最优运营和融资决策, 讨论了均衡解的性质. 供应商和零售商之间存在紧密的贸易关系, 而贷款担保为供应链成员之间的利益关系增加了新的影响因素. 从供应链整体的角度看, 供应商提供贷款担保并不改变供应链整体的融资成本, 而是使供应商与零售商共同分担了融资成本, 因此贷款担保是一种风险共担机制. 研究表明: 当批发价格是供应商的决策变量时, 供应商的最优策略是提供全额担保. 当批发价格是外生变量时, 全额担保不一定是供应商的最优策略. 当批发价格较低时, 供应商需要限制其担保额度. 在有限比例担保的机制下, 供应商的担保策略是类似的. 可见, 对供应商而言, 批发价格是否能协同决策是影响其担保策略的关键因素. 本文的研究结果从供应链运营的角度解释了全额担保与部分担保在实践中并存的现象.

未来的研究可以从以下方面展开: 1) 在供应商担保贷款中, 供应商和零售商都面临市场需求不确定带来的风险, 可以考虑二者的风险态度对其决策的影响; 2) 相比于银行, 供应链中承担担保责任的企业往往对借款者的信息更加了解, 可以在信息不对称的情况下分析供应商担保的作用.

参考文献:

[1] Ghatak M, Guinnane T W. The economics of lending with joint liability: Theory and practice. Journal of Development Economics, 1999, 60(1): 195–228.

[2] Madajewicz M. Joint liability versus individual liability in credit contracts. Journal of Economic Behavior & Organization, 2011, 77(2): 107–123.

[3] Baland J M, Somanathan R, Wahhaj Z. Repayment incentives and the distribution of gains from group lending. Journal of Development Economics, 2013, 105: 131–139.

[4] Bhole B, Ogden S. Group lending and individual lending with strategic default. Journal of Development Economics, 2010, 91(2): 348–363.

[5] 李金龙. 供应链金融理论与实务. 北京: 人民交通出版社, 2011.
Li J L. The Theory and Practice of Supply Chain Financing. Beijing: China Communications Press, 2011. (in Chinese)

[6] Beranek W. Financial implications of lot-size inventory models. Management Science, 1967, 13(8): 401–408.

[7] Hu Q J, Sobel M J. Echelon base-stock policies are financially sub-optimal. Operations Research Letters, 2007, 35(5): 561–566.

[8] Kouvelis P, Zhao W. The newsvendor problem and price-only contract when bankruptcy costs exist. Production and Operations Management, 2011, 20(6): 921–936.

[9] Kouvelis P, Zhao W. Financing the newsvendor: Supplier vs. bank, and the structure of optimal trade credit contracts. Operations Research, 2012, 60(3): 566–580.

[10] Jing B, Chen X, Cai G G. Equilibrium financing in a distribution channel with capital constraint. Production and Operations Management, 2012, 21(6): 1090–1101.

[11] Yang S A, Birge J R. Trade credit, risk sharing, and inventory financing portfolios. Management Science, 2018, 64(8): 3667–3689.

[12] 李 荣, 刘 露. Mean-CVaR准则下延期支付供应链决策与协调. 系统工程学报, 2017, 32(3): 370–384.
Li R, Liu L. Decision-making and coordinatation of the supply chain with a delay in payment under mean-CVaR criterion. Journal of Systems Engineering, 2017, 32(3): 370–384. (in Chinese)

[13] 周 咏, 胡艳梅, 杨华龙, 等. 价格和需求不确定下存货融资质押率优化研究. 系统工程学报, 2018, 33(1): 34–43.
Zhou Y, Hu Y M, Yang H L, et al. Optimization on loan-to-value ratios of inventory financing under uncertain price and demand. Journal of Systems Engineering, 2018, 33(1): 34–43. (in Chinese)

[14] Dada M, Hu Q. Financing newsvendor inventory. Operations Research Letters, 2008, 36(5): 569–573.

[15] Kouvelis P, Zhao W. Supply chain contract design under financial constraints and bankruptcy costs. Management Science, 2016, 62(8): 2341–2357.

[16] Xiao S, Sethi S P, Liu M, et al. Coordinating contracts for a financially constrained supply chain. Omega, 2017, 72: 71–86.

[17] 张义刚, 唐小我. 供应链融资中的制造商最优策略. 系统工程理论与实践, 2013, 33(6): 1434–1440.
Zhang Y G, Tang X W. Manufacturer's optimal policies in supply chain finance. Systems Engineering: Theory & Practice, 2013, 33(6): 1434–1440. (in Chinese)

[18] 白世贞, 徐 娜, 鄢章华. 基于核心企业回购担保的存货质押融资决策分析. 中国管理科学, 2012, 20(S1): 309–314.
Bai S Z, Xu N, Yan Z H. Research on decisions on inventory financing based on core enterprise's buy-back guarantee. Chinese Journal of Management Science, 2012, 20(S1): 309–314. (in Chinese)

[19] Yan N, Sun B, Zhang H, et al. A partial credit guarantee contract in a capital-constrained supply chain: Financing equilibrium and coordinating strategy. International Journal of Production Economics, 2016, 173: 122–133.

[20] 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. 管理工程学报, 2013, 27(1): 178–184.
Wang W L, Luo J W. Strategies for financing suppliers based on retailers' prepayment and loan guarantee. Journal of Industrial Engineering & Engineering Management, 2013, 27(1): 178–184. (in Chinese)

[21] 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. 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. Journal of Systems Engineering, 2015, 30(2): 190–200. (in Chinese)

[22] Tunca T I, Zhu W. Buyer intermediation in supplier finance. Management Science, 2018, 64(12): 5631-5650.

[23] Lariviere M A, Porteus E L. Selling to the newsvendor: An analysis of price-only contracts. Manufacturing & Service Operations Management, 2001, 3(4): 293–305.

[24] Topkis D M. Minimizing a submodular function on a lattice. Operations Research, 1978, 26(2): 305–321.

[25] Boyd S, Vandenberghe L. Convex Optimization. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

作者简介:

李沿海 (1988—), 男, 湖北汉川人, 博士, 博士后, 研究方向: 库存控制, 供应链金融, Email: xgliyh@163.com;

欧锦文 (1977—), 男, 广东新会人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 供应链整合与优化, 生产规划与库存控制, Email: toujinwen@jnu.edu.cn.