

doi: 10.3969/j.issn.1007-7375.2023.01.002

# 基于制造商行为偏好的零件质量升级努力与定价策略研究

崔庆安, 孙 艺

(上海海事大学 经济管理学院, 上海 201306)

**摘要:** 为研究供应商与存在行为偏好的制造商组成的二级供应链中质量升级努力投入与定价问题, 根据均值-方差法和FS公平理论构建模型, 采用Stackelberg博弈的方法, 分析最终产品质量水平、零件质量水平、零件质量升级水平及制造商的行为偏好对供应链双方决策和效用的影响, 并通过数值仿真验证。研究发现, 供应链双方效用、零件售价、零件质量升级努力及订货批量与零件质量升级水平成正相关的同时, 受其影响与最终产品质量水平呈不同变化趋势; 零件售价受市场环境影响与零件质量水平呈不同变化趋势, 供应链双方效用、零件质量升级努力及订货批量与零件质量水平负相关; 订货批量、零件质量升级努力、零件售价与制造商的风险规避程度正相关, 与制造商的公平偏好程度负相关。

**关键词:** 质量升级; 公平偏好; 风险规避; 定价

中图分类号: C931

文献标志码: A

文章编号: 1007-7375(2023)01-0008-11

## Research on Part Quality Upgrade Efforts and Pricing Strategy Based on Manufacturer's Behavior Preference

CUI Qingan, SUN Yi

(School of Economics and Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to study the effort input of quality upgrade and pricing in the secondary supply chain composed of suppliers and manufacturers with behavioral preferences, a model was established based on mean-variance method and FS fairness theory. Using the method of Stackelberg game, the impact of the quality level of the final products and parts, the quality upgrade level of the parts and manufacturer's behavior preference on the decision-making and utility of both sides of the supply chain was analyzed, and verified by numerical simulation. The study found that while the utility of both sides of the supply chain, the price of parts, the efforts to upgrade the quality of parts, and the order quantity are positively correlated with the level of quality upgrade of parts, they are affected by the level of quality upgrade of parts and show different trends from the quality of final products. Furthermore, the price of parts is affected by the market environment and the quality of parts shows different trends. The utility of both sides of the supply chain, the efforts to upgrade the quality of parts, and the order quantity are negatively related to the quality of parts. The order quantity, the efforts to upgrade the quality of parts, and the price of parts are positively related to the manufacturer's risk aversion, and negatively related to the manufacturer's fairness preference.

**Key words:** quality upgrade; fairness preference; risk aversion; price

### 1 文献综述

随着消费者消费水平的提高, 市场对产品的要

求越来越高。供应商不仅需要做好品质管控, 还要及时对产品进行质量升级, 以满足不断发展的市场需要。为了不与市场发展节奏脱轨, 供应商需要在

收稿日期: 2021-10-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71571168); 国家自然科学基金河南省联合基金重点资助项目(U1904211); 科技部创新方法工作专项资助项目(2019IM020200)

作者简介: 崔庆安(1974—), 男, 山西省人, 教授, 博士, 主要研究方向为质量管理与质量优化、复杂系统建模及优化。

产品的升级过程中投入一定成本以提高升级效率与质量。2021年上半年, 华微电子芯片制造部在满产状态下, 四寸线产品综合合格率同比提高3.1%, 五寸线产品综合合格率同比提高2.53%, 六寸线量产MOS产品综合合格率同比提高3.81%, 八寸线综合合格率达到通线以来最好水平。与此同时, 2020年华微电子曾因产品研发投入增加、人工及材料成本上升等原因导致净利润减少。重庆宗申发动机制造有限公司也通过对摩托车发动机1011生产线进行智能化改造, 将产品质量一次测试合格率从96%提高到99%。供应商在产品质量升级研发过程中的成本投入势必会导致产品价格浮动, 影响制造商或消费者对产品的订购量, 并影响供应商利润。因此, 如何在对产品进行质量升级过程中做好努力成本投入决策与产品定价决策, 对供应商来说是重要的研究问题之一。

目前, 关于产品质量控制与升级对于供应链决策与优化影响的研究已经引起许多国内外学者的关注。在考虑产品质量差异化的背景下, 刘家国等<sup>[1]</sup>研究闭环供应链中存在质量差异的新产品与再制造产品的定价策略。Zhang等<sup>[2]</sup>构建供应链的优化控制模型, 研究质量差异化背景下产品效用定价的问题。周雄伟等<sup>[3]</sup>研究自身网络外部性和交互网络外部性对质量差异化产品的定价策略的影响。在对质量控制与升级的相关研究中, Xie等<sup>[4]</sup>分别在零售商主导和供应商主导两种情形下研究供应链质量控制与价格决策策略, 提出质量改进策略可以实现供应链绩效的帕累托改进。张翠华等<sup>[5]</sup>考虑集成商的质量缺陷承诺和提供商的质量偏好, 研究服务供应链的质量控制问题。孙健慧等<sup>[6]</sup>通过分析比较Nash非合作博弈和Stackelberg主从博弈两种分散式决策模式及集中式决策模式下协同合作博弈, 研究三级装备制造制造业供应链质量管理行为的协调问题。单汨源等<sup>[7]</sup>将供应链节点企业的社会责任纳入供应链质量管理的研究中, 分析收益共享-质量成本共担契约的运作决策。王玖河等<sup>[8]</sup>在考虑监督惩罚机制的情况下, 建立自有品牌供应链质量控制演化博弈模型, 比较研究定额奖励、质量控制成本共担、收益共享3种激励机制的影响。袁开福等<sup>[9]</sup>通过比较分析有否进行产品质量升级的情形, 研究碳交易下的再制造供应链定价决策。此外, 路正南等<sup>[10]</sup>通过引入质量投入与奖惩函数, 研究回收品质量对简单再制

造闭环供应链决策的影响。

在上述研究中的企业大多数是理性且风险中性的, 在实际问题中, 市场的不确定性以及供应链参与者资源利润分配的差异广泛存在, 企业会考虑自身利益是否因此受损。Choi<sup>[11]</sup>研究风险厌恶零售商对订制快速反应时装供应链的影响。周岩等<sup>[12]</sup>研究零售商的公平偏好对双渠道绿色供应链中各决策者的决策影响。王永明等<sup>[13]</sup>在FS基础上, 建立简单二级供应链中供应商和零售商同时具有风险规避和公平偏好的收益共享契约协调模型, 并分别在分散决策和集中决策下分析供应链的协调状态。张冲等<sup>[14]</sup>引入信用支付, 研究零售商公平偏好对供应链的影响。林志炳等<sup>[15]</sup>研究零售商的公平偏好行为对双渠道绿色供应链中绿色产品推广的搭便车行为的影响。

现有的研究中也许多学者将供应链质量研究与企业行为偏好相结合。Tapiero<sup>[16]</sup>在进行供应链协同质量控制研究时, 在考虑顾客风险的情况下, 提出质量水平选择下风险共担模型。张翠华等<sup>[17]</sup>在考虑公平偏好的情况下, 通过建立对物流服务供应链质量监督与协作的预期收益模型, 得出公平偏好对服务供应链的质量决策产生强烈影响的结论。唐松祥等<sup>[18]</sup>研究收购价格外生与内生两种情况下, 供应商分布式公平偏好和同行诱导公平偏好对供应商产品质量控制努力的影响。王琪等<sup>[19]</sup>基于零售商的风险规避行为, 研究在成本信息对称和不对称两种情形下MTO供应链的质量决策问题。官振中等<sup>[20]</sup>针对具有产品质量纵向差异化的两个竞争性企业, 在两企业分别具有公平偏好时讨论最优定价策略。

上述文献回顾可以看出, 企业对产品的质量控制行为以及供应链成员的行为偏好会对供应链中的决策产生影响。在国内外现有的对供应链质量与企业行为的研究中, 大多从质量差异化定价、质量改进的影响或企业间契约合作的角度考虑, 对供应商在质量升级过程中为了提高升级效率或完成度投入的努力成本的研究相对较少。本文在考虑制造商行为偏好的情况下, 研究供应商对零件质量升级的努力成本投入与定价策略问题, 并结合数值分析进行讨论。

## 2 问题描述与基本假设

制造商在进行订货决策时, 往往要综合考虑市场需求和供应商的零件定价等多方面因素。在本文

的供应链系统中, 供应商对零件做定价和质量升级努力水平的决策。市场环境对零件的质量水平形成基本要求, 核心零件供应商的质量升级努力水平能够提高其零件升级效率, 进而影响最终产品的生产进度及成果, 并最终同零件质量水平一起影响最终产品的市场需求。此外, 随机的市场需求给制造商的利润带来一定的风险性, 供应商主导的合作关系也往往有失公平。因此, 本文考虑在供应链中处于相对劣势地位的制造商的风险规避和公平偏好行为对供应链双方的影响。

本文假定一条由一个供应商s和一个制造商m组成的两级供应链系统, 其中, 供应商s为供应链的主导者, 为制造商m提供生产最终产品所必需的关键零件。随着时代的发展与技术的进步, 零件需要不断进行质量升级换代以避免被淘汰。在该供应链系统中, 最终产品市场规模为 $D$ , 供应商s需要在一个供货周期开始决定零件的质量升级努力水平 $\theta$ 并确定其售价 $p$ , 制造商m决定本周期订货批量 $Q$ , 并将最终产品以价格 $P$ 卖给消费者。分别以 $\pi_s$ 和 $\pi_m$ 表示供应商与制造商的利润函数, 本文其他参数设定如表1所示。

表 1 参数设定

Table 1 Parameter Settings

| 参数       | 含义                                  |
|----------|-------------------------------------|
| $\alpha$ | 零件初始质量水平, $\alpha \in [0, 1]$       |
| $\beta$  | 最终产品初始质量水平, $\beta \in [0, 1]$      |
| $\omega$ | 零件对最终产品的质量传递系数, $\omega \in [0, 1]$ |
| $\xi$    | 零件质量升级水平系数, $\xi > 0$               |
| $k$      | 质量升级努力成本系数, $k > 0$                 |
| $\gamma$ | 最终产品价格敏感系数, $\gamma > 0$            |
| $b$      | 最终产品质量敏感系数, $b > 0$                 |
| $\eta$   | 最终产品对零件质量升级努力的敏感系数, $\eta > 0$      |
| $c$      | 供应商零件生产成本系数, $c > 0$                |
| $C$      | 制造商生产最终产品的边际成本, $C > 0$             |

此外, 本文还作如下假设。

1) 根据文献[9]对新品与再制造品的质量升级模型, 基于本文研究问题的现实考量与研究方便, 假定制造商根据升级后的零件生产得到的最终产品的质量表现 $q = \beta + \omega\xi\alpha(1-\beta)^2$ , 表示最终产品的质量表现受其初始质量水平 $\beta$ 影响。对于低质量产品, 由于其提升空间较大, 关键零件的质量升级能够给产品最终质量表现带来较大提升, 而对于高质量产

品, 关键零件的质量升级对产品最终质量表现的影响较为有限。

2) 供应商s作为成熟的零件生产供应商, 具有充足的产能, 且能够保证零件质量的稳定, 确保制造商m收到的零件质量水平符合要求。

3) 假定在零件生产过程中, 因零件质量水平升级所增加的生产成本全部包含在 $C(\theta)$ 中,  $C(\theta) = k\theta^2$ ; 零件生产边际成本受其初始质量水平影响, 表示为 $c\alpha^2$ 。

4) 在供应商主导的二级供应链系统中, 仅考虑制造商的风险规避和公平偏好行为。

5) 制造商m向供应商s单次订货批量 $Q$ 与其最终产品的市场需求 $Q_0$ 相等, 最终产品的市场需求 $Q_0$ 受到最终产品的质量水平 $q$ 、售价 $P$ 及零件质量升级努力 $\theta$ 影响, 即

$$Q = D - \gamma P + \eta\theta + bq + \varepsilon. \quad (1)$$

其中,  $\varepsilon$ 表示市场的随机不确定性,  $\varepsilon \sim N(0, \delta^2)$ 。

综上, 供应商与制造商的利润函数为

$$\pi_s = Q(p - c\alpha^2) - k\theta^2; \quad (2)$$

$$\pi_m = Q(P - p - C). \quad (3)$$

## 3 模型求解与分析

### 3.1 制造商风险中性且公平中性的情况

当制造商风险中性且公平中性时, 供应商和制造商的期望利润即为二者的效用函数, 即

$$U_s^n = E(\pi_s) = Q(p - c\alpha^2) - k\theta^2; \quad (4)$$

$$U_m^n = E(\pi_m) = Q \left\{ \frac{D - Q + b[\beta + \omega\xi\alpha(1-\beta)^2] + \eta\theta}{\gamma} - p - C \right\}. \quad (5)$$

采用逆向归纳法, 求得制造商的最优订货批量为

$$Q^{n*} = \frac{D + b[\beta + \omega\xi\alpha(1-\beta)^2] + \eta\theta - \gamma C - \gamma p}{2}. \quad (6)$$

将 $Q^{n*}$ 代入式(4), 并分别对 $p$ 、 $\theta$ 求一阶偏导得

$$\frac{\partial U_s^n}{\partial p} = \frac{\gamma(\alpha^2 c - C - 2p) + D + b[\beta + \omega\xi\alpha(1-\beta)^2] + \eta\theta}{2}; \quad (7)$$

$$\frac{\partial U_s^n}{\partial \theta} = \frac{\eta(p - \alpha^2 c)}{2} - 2k\theta. \quad (8)$$

**定理1** 当 $8\gamma k - \eta^2 > 0$ 时, 供应商零件价格 $p$ 及质量升级努力水平 $\theta$ 有唯一最优可行解

$$p^{n*} = \frac{4bk[\beta + \omega\xi\alpha(1-\beta)^2] + \alpha^2 c(4k\gamma - \eta^2) + 4k(D - C\gamma)}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$\theta^{n*} = \frac{\eta[D + b\beta + b\omega\xi\alpha(1-\beta)^2 - \gamma\alpha^2 - C\gamma]}{8k\gamma - \eta^2}.$$

**证明** 分别对 $\frac{\partial U_s^n}{\partial p}$ 、 $\frac{\partial U_s^n}{\partial \theta}$ 求 $p$ 、 $\theta$ 偏导, 得 $\frac{\partial^2 U_s^n}{\partial p^2} = -\gamma$ ;  $\frac{\partial^2 U_s^n}{\partial p \partial \theta} = \frac{\eta}{2}$ ;  $\frac{\partial^2 U_s^n}{\partial \theta \partial p} = \frac{\eta}{2}$ ;  $\frac{\partial^2 U_s^n}{\partial \theta^2} = -2k$ 。

由此可得 $U_s^n$ 的Hessian矩阵为

$$H_{(p,\theta)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 U_s^n}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 U_s^n}{\partial p \partial \theta} \\ \frac{\partial^2 U_s^n}{\partial \theta \partial p} & \frac{\partial^2 U_s^n}{\partial \theta^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\gamma & \frac{\eta}{2} \\ \frac{\eta}{2} & -2k \end{bmatrix}. \quad (9)$$

由式(9)得

$$\frac{\partial^2 U_s^n}{\partial p^2} \frac{\partial^2 U_s^n}{\partial \theta^2} - \frac{\partial^2 U_s^n}{\partial p \partial \theta} \frac{\partial^2 U_s^n}{\partial \theta \partial p} = 2k\gamma - \frac{\eta^2}{4}.$$

当 $8\gamma k - \eta^2 > 0$ ,  $U_s^n$ 的Hessian矩阵负定,  $U_s^n$ 对 $p$ 、 $\theta$ 存在最优可行解, 则在制造商风险中性且公平中性的情形下, 供应商零件最优售价、最优质量升级努力水平、制造商最优订货批量、最终产品售价、供应链双方效用为

$$p^{n*} = \frac{4bk[\beta + \omega\xi\alpha(1-\beta)^2] + \alpha^2 c(4k\gamma - \eta^2) + 4k(D - C\gamma)}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$\theta^{n*} = \frac{\eta[D + b\beta + b\omega\xi\alpha(1-\beta)^2 - \gamma\alpha^2 - C\gamma]}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$Q^{n*} = \frac{2k\gamma[D + b\beta + b\omega\xi\alpha(1-\beta)^2 - \gamma\alpha^2 - \gamma C]}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$P^{n*} = \frac{6k[D + \omega b\xi\alpha(1-\beta)^2 + b\beta] + (2k\gamma - \eta^2)(\alpha^2 + C)}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$U_s^n = \frac{k[D + \omega b\xi\alpha(1-\beta)^2 + b\beta - \gamma\alpha^2 - \gamma C]^2}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$U_m^n = \frac{4\gamma k^2[D + \omega b\xi\alpha(1-\beta)^2 + b\beta - \gamma\alpha^2 - \gamma C]^2}{(8k\gamma - \eta^2)^2}.$$

**推论1** 当 $\alpha\omega\xi \geq \frac{1}{2}$ 且 $\beta \in [0, 1 - \frac{1}{2\alpha\omega\xi}]$ 时,  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $Q$ 、 $p$ 及 $\theta$ 与 $\beta$ 负相关; 当 $\alpha\omega\xi \geq \frac{1}{2}$ 且 $\beta \in (1 - \frac{1}{2\alpha\omega\xi}, 1]$ 或 $\alpha\omega\xi < \frac{1}{2}$ 时,  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $Q$ 、 $p$ 及 $\theta$ 与 $\beta$ 正相关。

**证明** 分别对 $U_s^n$ 、 $U_m^n$ 、 $Q$ 、 $p$ 、 $\theta$ 求 $\beta$ 一阶导数得

$$\frac{dU_s^n}{d\beta} = \frac{1}{8k\gamma - \eta^2} \{2bk(2\beta\alpha\omega\xi - 2\alpha\omega\xi + 1)[D + \omega b\xi\alpha(1-\beta)^2 + b\beta - \gamma\alpha^2 - \gamma C]\};$$

$$\frac{dU_m^n}{d\beta} = \frac{1}{(8k\gamma - \eta^2)^2} \{8bk^2\gamma(2\beta\alpha\omega\xi - 2\alpha\omega\xi + 1)[D + \omega b\xi\alpha(1-\beta)^2 + b\beta - \gamma\alpha^2 - \gamma C]\};$$

$$\frac{dQ}{d\beta} = \frac{2bk\gamma(2\beta\alpha\omega\xi - 2\alpha\omega\xi + 1)}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$\frac{dp}{d\beta} = \frac{4bk(2\beta\alpha\omega\xi - 2\alpha\omega\xi + 1)}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$\frac{d\theta}{d\beta} = \frac{\eta b(2\beta\alpha\omega\xi - 2\alpha\omega\xi + 1)}{8k\gamma - \eta^2}.$$

根据定理1,  $8\gamma k - \eta^2 > 0$ , 且 $b > 0$ ,  $k > 0$ ,  $\eta > 0$ ,  $\gamma > 0$ ,  $\xi > 0$ ,  $\alpha \in [0, 1]$ ,  $\beta \in [0, 1]$ ,  $\omega \in [0, 1]$ , 易得在 $\alpha\omega\xi \geq \frac{1}{2}$ 条件下, 当 $\beta < 1 - \frac{1}{2\alpha\omega\xi}$ 时,  $\frac{dU_s^n}{d\beta} < 0$ ,  $\frac{dU_m^n}{d\beta} < 0$ ,  $\frac{dQ}{d\beta} < 0$ ,  $\frac{dp}{d\beta} < 0$ ,  $\frac{d\theta}{d\beta} < 0$ ; 当 $\beta > 1 - \frac{1}{2\alpha\omega\xi}$ 时,  $\frac{dU_s^n}{d\beta} > 0$ ,  $\frac{dU_m^n}{d\beta} > 0$ ,  $\frac{dQ}{d\beta} > 0$ ,  $\frac{dp}{d\beta} > 0$ ,  $\frac{d\theta}{d\beta} > 0$ 。在 $\alpha\omega\xi < \frac{1}{2}$ 条件下,  $\frac{dU_s^n}{d\beta} > 0$ ,  $\frac{dU_m^n}{d\beta} > 0$ ,  $\frac{dQ}{d\beta} > 0$ ,  $\frac{dp}{d\beta} > 0$ ,  $\frac{d\theta}{d\beta} > 0$ 。这意味着, 当 $\alpha\omega\xi \geq \frac{1}{2}$ 时, 随着 $\beta$ 的增加,  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $p$ 、 $\theta$ 及 $Q$ 都有先减少再增长的趋势; 当 $\alpha\omega\xi < \frac{1}{2}$ 时,  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $p$ 、 $\theta$ 及 $Q$ 均随 $\beta$ 的增加而增长。这是因为当零件质量达到较高水平时, 市场提出的升级需求越高, 供应商对零件进行质量升级时面临的困难也越多, 需要投入更多质量成本, 零件售价也必然随之提高。同时, 当最终产品质量水平较低时, 零件质量升级水平给供应链双方效用带来的影响较大, 随着最终产品质量水平的提高, 这种影响逐渐减小。

**推论2** 当 $\alpha \in [0, \frac{b\xi\omega e^{(1-\beta)^2}}{2c\gamma}]$ 时,  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $\theta$ 及 $Q$ 与 $\alpha$ 正相关; 当 $\alpha \in (\frac{b\xi\omega e^{(1-\beta)^2}}{2c\gamma}, 1]$ 时,  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $\theta$ 及 $Q$ 与 $\alpha$ 负相关。当 $4\gamma k - \eta^2 < 0$ 时,  $p$ 在 $\alpha \in [0, \frac{4bk\xi\omega(1-\beta)^2}{2c(\eta^2 - 4k\gamma)}]$ 与 $\alpha$ 正相关, 在 $\alpha \in [\frac{4bk\xi\omega(1-\beta)^2}{2c(\eta^2 - 4k\gamma)}, 1]$ 与 $\alpha$ 负相关; 当 $4\gamma k - \eta^2 > 0$ 时,  $p$ 与 $\alpha$ 正相关。

**证明** 分别对 $U_s^n$ 、 $U_m^n$ 、 $Q$ 、 $p$ 、 $\theta$ 求 $\alpha$ 一阶导数得

$$\frac{dU_s^n}{d\alpha} = \frac{1}{8k\gamma - \eta^2} \{-2k[D + \omega b\xi\alpha(1-\beta)^2 + b\beta - \gamma c\alpha^2 - \gamma C][2\alpha c\gamma - b\xi\omega(1-\beta)^2]\};$$

$$\frac{dU_m^n}{d\alpha} = \frac{1}{(8k\gamma - \eta^2)^2} \{-8k^2\gamma[D + \omega b\xi\alpha(1-\beta)^2 + b\beta - \gamma c\alpha^2 - \gamma C][2\alpha c\gamma - b\xi\omega(1-\beta)^2]\};$$

$$\frac{dQ}{d\alpha} = \frac{-2k\gamma[2\alpha c\gamma - b\xi\omega(1-\beta)^2]}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$\frac{dp}{d\alpha} = \frac{4bk\xi\omega(1-\beta)^2 + 2\alpha c(4k\gamma - \eta^2)}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$\frac{d\theta}{d\alpha} = \frac{-\eta[2\alpha c\gamma - \xi b\omega(1-\beta)^2]}{8k\gamma - \eta^2}.$$

根据定理 1,  $8\gamma k - \eta^2 > 0$ , 且  $b > 0$ ,  $k > 0$ ,  $\eta > 0$ ,  $\gamma > 0$ ,  $\xi > 0$ ,  $\alpha \in [0, 1]$ ,  $\beta \in [0, 1]$ ,  $\omega \in [0, 1]$ , 易得当  $\alpha < \frac{b\xi\omega e^{(1-\beta)^2}}{2c\gamma}$ ,  $\frac{dU_s^n}{d\alpha} > 0$ ,  $\frac{dU_m^n}{d\alpha} > 0$ ,  $\frac{dQ}{d\alpha} > 0$ ,  $\frac{d\theta}{d\alpha} > 0$ ;

当  $\alpha > \frac{b\xi\omega e^{(1-\beta)^2}}{2c\gamma}$ ,  $\frac{dU_s^n}{d\alpha} < 0$ ,  $\frac{dU_m^n}{d\alpha} < 0$ ,  $\frac{dQ}{d\alpha} < 0$ ,  $\frac{d\theta}{d\alpha} < 0$ . 当  $4\gamma k - \eta^2 < 0$  时, 当  $\alpha < \frac{4bk\xi\omega(1-\beta)^2}{2c(\eta^2 - 4k\gamma)}$ ,  $\frac{dp}{d\alpha} > 0$ , 当

$\alpha > \frac{4bk\xi\omega(1-\beta)^2}{2c(\eta^2 - 4k\gamma)}$ ,  $\frac{dp}{d\alpha} < 0$ ; 当  $4\gamma k - \eta^2 > 0$  时恒有  $\frac{dp}{d\alpha} > 0$ .

在实际问题中,  $\frac{b\xi\omega e^{(1-\beta)^2}}{2c\gamma}$  及  $\frac{4bk\xi\omega(1-\beta)^2}{2c(\eta^2 - 4k\gamma)}$  往往非常

小, 故可认为  $U_s^n$ 、 $U_m^n$ 、 $Q$ 、 $\theta$  及  $4\gamma k - \eta^2 < 0$  时的  $p$  是递减的, 即随着零件初始质量水平的提升,  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $\theta$  及  $Q$  可视为单调递减; 当  $4\gamma k - \eta^2 < 0$  时,  $p$  随零件质量水平的提升而减少; 当  $4\gamma k - \eta^2 > 0$  时,  $p$  随零件质量水平的提升而增加。对供应商而言, 由于零件处于高质量水平时的质量提升空间较小, 投入相同的质量升级努力换来的质量升级效果往往远不如零件处于低质量水平时的升级效果, 单位质量升级努力成本换来的供应商的利益也终将减少。若市场更青睐产品的升级效果与速度, 供应商尚可通过提高零件售价来保证利润; 但若市场对产品的价格更为敏感, 那么供应商只能通过降低零件售价来吸引客户。

**推论 3**  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $\theta$ 、 $p$  及  $Q$  与  $\xi$  正相关。

**证明** 分别对  $U_s^n$ 、 $U_m^n$ 、 $Q$ 、 $p$ 、 $\theta$  求  $\xi$  一阶导数得

$$\frac{dU_s^n}{d\xi} = \frac{2\alpha b k \omega (1-\beta)^2 [D + \omega b \xi \alpha (1-\beta)^2 + b\beta - \gamma c \alpha^2 - \gamma C]}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$\frac{dU_m^n}{d\xi} = \frac{8\alpha b k^2 \gamma \omega (1-\beta)^2 [D + \omega b \xi \alpha (1-\beta)^2 + b\beta - \gamma c \alpha^2 - \gamma C]}{(8k\gamma - \eta^2)^2};$$

$$\frac{dQ}{d\xi} = \frac{2\alpha b k \gamma \omega (1-\beta)^2}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$\frac{dp}{d\xi} = \frac{4\alpha b k \omega (1-\beta)^2}{8k\gamma - \eta^2};$$

$$\frac{d\theta}{d\xi} = \frac{\eta \alpha b \omega (1-\beta)^2}{8k\gamma - \eta^2}.$$

根据定理 1,  $8\gamma k - \eta^2 > 0$ , 且  $b > 0$ ,  $k > 0$ ,  $\eta > 0$ ,

$\gamma > 0$ ,  $\xi > 0$ ,  $\alpha \in [0, 1]$ ,  $\beta \in [0, 1]$ ,  $\omega \in [0, 1]$ , 易得  $\frac{dU_s^n}{d\xi} > 0$ ,  $\frac{dU_m^n}{d\xi} > 0$ ,  $\frac{dQ}{d\xi} > 0$ ,  $\frac{dp}{d\xi} > 0$ ,  $\frac{d\theta}{d\xi} > 0$ 。这也就是说,

$U_s$ 、 $U_m$ 、 $p$ 、 $\theta$  及  $Q$  均随零件质量升级水平的增加单调递增。这是因为, 随着零件质量升级水平需求的增加, 供应商需要投入更多质量升级努力以保证质量升级效果, 成本的增加使得零件售价提高; 但对市场而言, 产品质量的大幅提升亦为市场所乐见的, 销量因此增加, 供应链双方也因此得利。

### 3.2 具有风险规避和公平偏好的制造商订货决策

当考虑制造商风险规避行为时, 以  $\lambda$  反映制造商的风险规避水平。 $\lambda$  越大, 表示制造商的风险规避程度越大; 当  $\lambda$  为 0 时, 表示制造商是风险中性决策者。本文采用均值-方差法度量制造商的风险规避行为, 当制造商是风险规避决策者时, 制造商的效用函数为

$$U_m^a = E(\pi_m) - \lambda \text{Var}\pi_m. \quad (10)$$

在考虑制造商的公平偏好行为, 研究制造商对供应链其他参与企业利益的关注程度时, 根据 FS 公平理论模型, 以供应商的效用为制造商的平衡参照点, 设  $\mu$  为制造商的公平偏好程度,  $\mu > 0$  表示制造商的嫉妒指数,  $\mu < 0$  表示制造商的同情指数。由于本文考虑的是由供应商主导的供应链, 在供应商与制造商的合作中, 处于强势地位的供应商能够比制造商获得更多利润, 因此, 制造商的公平偏好仅存在嫉妒行为, 即  $\mu > 0$ 。因此, 在考虑制造商的公平偏好的行为时, 制造商和供应商的效用可表示为

$$U_s^F = E(\pi_s); \quad (11)$$

$$U_m^F = U_m^n - \mu(U_s^n - U_m^n). \quad (12)$$

因此, 当考虑制造商的公平偏好及风险规避行为时, 供应商和制造商的效用分别为

$$U_s^{RF} = E(\pi_s) = Q(p - c\alpha^2) - k\theta^2. \quad (13)$$

$$U_m^{RF} = E(\pi_m) - \lambda \text{Var} \pi_m - \mu(\pi_s - \pi_m) = (1 + \mu) \times Q \left\{ \frac{D - Q + b[\beta + \omega\xi\alpha(1 - \beta)^2] + \eta\theta}{\gamma} - C - p \right\} - \mu [Q(p - c\alpha^2) - k\theta^2] - \lambda\delta^2 \left\{ \frac{D - Q + b[\beta + \omega\xi\alpha(1 - \beta)^2] + \eta\theta}{\gamma} - C - p \right\}^2. \quad (14)$$

对式(14)求 $Q$ 的一阶导数, 并令其为0, 得

$$Q^{RF*} = \frac{1}{2(\lambda\delta^2 + \mu\gamma + \gamma)} \{ (2\lambda\delta^2 + \mu\gamma + \gamma)[D + b(\beta + \omega\xi\alpha(1 - \beta)^2) + \eta\theta - \gamma(C + p)] - \mu\gamma^2(p - c\alpha^2) \}. \quad (15)$$

将 $Q^{RF*}$ 代入 $U_s^{RF}$ , 并分别求 $p$ 、 $\theta$ 一阶偏导, 得

$$\frac{\partial U_s^{RF}}{\partial p} = \frac{1}{2(\lambda\delta^2 + \mu\gamma + \gamma)} \{ D + b[\beta + \omega\xi\alpha(1 - \beta)^2] + \eta\theta - \gamma(C + p) \} (2\lambda\delta^2 + \mu\gamma + \gamma) - \gamma(p - c\alpha^2)(\gamma + 3\mu\gamma + 2\lambda\delta^2); \quad (16)$$

$$\frac{\partial U_s^{RF}}{\partial \theta} = \frac{\eta(p - c\alpha^2)(2\lambda\delta^2 + \mu\gamma + \gamma)}{2(\lambda\delta^2 + \mu\gamma + \gamma)} - 2k\theta. \quad (17)$$

**定理2** 当  $8k\gamma(\gamma + \mu\gamma + \delta^2\lambda)(\gamma + 2\mu\gamma + 2\delta^2\lambda) - \eta^2(\gamma + \mu\gamma + 2\delta^2\lambda)^2 > 0$  时, 供应商决策的零件价格 $p$ 及质量升级努力水平 $\theta$ 有唯一最优可行解。

$$p^{RF*} = \frac{1}{8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2} \{ 4k[D + \omega b\xi\alpha(1 - \beta)^2 + b\beta + \gamma c\alpha^2 - \gamma C] A_1 A_2 + c\alpha^2(8k\gamma^2 \mu A_1 - \eta^2 A_2^2) \};$$

$$\theta^{RF*} = \frac{\eta A_2^2 [D + \omega b\xi\alpha(1 - \beta)^2 + b\beta - \gamma c\alpha^2 - \gamma C]}{8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2}.$$

其中,  $A_1 = \gamma(1 + \mu) + \lambda\delta^2$ ;  $A_2 = \gamma(1 + \mu) + 2\lambda\delta^2$ 。

**证明** 分别对  $\frac{\partial U_s^{RF}}{\partial p}$ 、 $\frac{\partial U_s^{RF}}{\partial \theta}$  求 $p$ 、 $\theta$ 偏导, 得 $U_s^{RF}$ 的

Hessian矩阵为

$$H_{(p,\theta)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 U_s^{RF}}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 U_s^{RF}}{\partial p \partial \theta} \\ \frac{\partial^2 U_s^{RF}}{\partial \theta \partial p} & \frac{\partial^2 U_s^{RF}}{\partial \theta^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\gamma^2 + 2\mu\gamma^2 + 2\delta^2\lambda\gamma}{\gamma + \mu\gamma + \delta^2\lambda} & \frac{\eta(\gamma + \mu\gamma + 2\delta^2\lambda)}{2(\gamma + \mu\gamma + \delta^2\lambda)} \\ \frac{\eta(\gamma + \mu\gamma + 2\delta^2\lambda)}{2(\gamma + \mu\gamma + \delta^2\lambda)} & -2k \end{bmatrix}. \quad (18)$$

由式(18)得

$$\frac{\partial^2 U_s^{RF}}{\partial p^2} \frac{\partial^2 U_s^{RF}}{\partial \theta^2} - \frac{\partial^2 U_s^{RF}}{\partial p \partial \theta} \frac{\partial^2 U_s^{RF}}{\partial \theta \partial p} = 8k\gamma(\gamma + \mu\gamma + \delta^2\lambda)(\gamma + 2\mu\gamma + 2\delta^2\lambda) - \eta^2(\gamma + \mu\gamma + 2\delta^2\lambda)^2.$$

当  $8k\gamma(\gamma + \mu\gamma + \delta^2\lambda)(\gamma + 2\mu\gamma + 2\delta^2\lambda) - \eta^2(\gamma + \mu\gamma + 2\delta^2\lambda)^2 > 0$ ,  $U_s^{RF}$ 的Hessian矩阵负定,  $U_s^{RF}$ 对 $p$ 、 $\theta$ 存在最优可行解。则在考虑制造商风险规避且公平偏好的情形下, 零件最优售价、最优质量升级努力水平、制造商最优订货批量、最终产品售价、供应链双方效用为

$$p^{RF*} = \frac{1}{8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2} \{ 4k[D + \omega b\xi\alpha(1 - \beta)^2 + b\beta + \gamma c\alpha^2 - \gamma C] A_1 A_2 + c\alpha^2(8k\gamma^2 \mu A_1 - \eta^2 A_2^2) \};$$

$$\theta^{RF*} = \frac{\eta A_2^2 [D + \omega b\xi\alpha(1 - \beta)^2 + b\beta - \gamma c\alpha^2 - \gamma C]}{8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2};$$

$$Q^{RF*} = \frac{2k\gamma [D + \omega b\xi\alpha(1 - \beta)^2 + b\beta - \gamma c\alpha^2 - \gamma C] A_2 A_3}{8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2};$$

$$P^{RF*} = \frac{1}{8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2} \{ 2k[D + \omega b\xi\alpha(1 - \beta)^2 + b\beta] A_3 A_4 - (c\alpha^2 + C)(2k\gamma A_2 A_3 + \eta^2 A_2^2) \};$$

$$U_s^{RF} = \frac{k A_2^2 [D + \omega b\xi\alpha(1 - \beta)^2 + b\beta - \gamma c\alpha^2 - \gamma C]^2}{8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2};$$

$$U_m^{RF} = \frac{1}{(8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2)^2} \{ k[D + \omega b\xi\alpha(1 - \beta)^2 + b\beta - \gamma c\alpha^2 - \gamma C]^2 [\eta^2 \mu A_2^4 - 4k\gamma A_5] \}.$$

其中,  $A_1 = \gamma(1 + \mu) + \lambda\delta^2$ ;  $A_2 = \gamma(1 + \mu) + 2\lambda\delta^2$ ;  $A_3 = \gamma(1 + 2\mu) + 2\lambda\delta^2$ ;  $A_4 = 3\gamma(1 + \mu) + 2\lambda\delta^2$ ;  $A_5 = 16\lambda^4 \delta^8 \mu + 4\lambda^3 \delta^6 \gamma \times (12\mu^2 + 8\mu - 1) + 4\lambda^2 \delta^4 \gamma^2 (\mu + 1)(11\mu^2 + 3\mu - 2) + \lambda\delta^2 \gamma^3 (\mu + 1)^3 \times (8\mu^2 - 8\mu - 5) - \gamma^4 (\mu + 1)^3 (2\mu + 1)^2$ 。

**推论4** 在考虑制造商风险规避行为时,  $Q$ 、 $p$ 、 $\theta$ 与 $\lambda$ 正相关。

**证明** 分别对 $Q$ 、 $p$ 、 $\theta$ 求关于 $\lambda$ 的一阶导数, 得

$$\frac{dQ}{d\lambda} = \frac{1}{(8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2)^2} \{ 4k\delta^2 \gamma^2 [D + \omega b\xi\alpha(1 - \beta)^2 + b\beta - \gamma c\alpha^2 - \gamma C] [4k\gamma(\mu + 1) A_3^2 + \eta^2 \mu A_2^2] \};$$

$$\frac{dp}{d\lambda} = \frac{1}{(8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2)^2} \{ 4k\delta^2 \gamma [D + \omega b\xi\alpha(1 - \beta)^2 + b\beta - \gamma c\alpha^2 - \gamma C] [\eta^2 (1 + \mu) A_2^2 + 16k\gamma \mu A_1^2] \};$$

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{1}{(8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2)^2} \{ 8k\delta^2 \gamma^2 \eta A_2 [D + \omega b\xi\alpha(1 - \beta)^2 + b\beta - \gamma c\alpha^2 - \gamma C] [2\delta^2 \lambda (1 + 2\mu) + \gamma(1 + \mu)(1 + 4\mu)] \}.$$

其中,  $A_1 = \gamma(1 + \mu) + \lambda\delta^2$ ;  $A_2 = \gamma(1 + \mu) + 2\lambda\delta^2$ ;  $A_3 =$

$\gamma(1+2\mu)+2\lambda\delta^2$ ;  $A_4=3\gamma(1+\mu)+2\lambda\delta^2$ 。

根据定理2,  $8k\gamma(\gamma+\mu\gamma+\delta^2\lambda)(\gamma+2\mu\gamma+2\delta^2\lambda)-\eta^2(\gamma+\mu\gamma+2\delta^2\lambda)^2>0$ , 且  $b>0$ ,  $k>0$ ,  $\eta>0$ ,  $\gamma>0$ ,  $\xi>0$ ,  $\alpha\in[0,1]$ ,  $\beta\in[0,1]$ ,  $\omega\in[0,1]$ ,  $\mu>0$ , 易得当  $\lambda>0$  时,  $\frac{dQ}{d\lambda}>0$ ,  $\frac{dp}{d\lambda}>0$ ,  $\frac{d\theta}{d\lambda}>0$ 。即  $p$ 、 $\theta$ 、 $Q$  与制造商的风险规避程度正相关。这是因为制造商的风险规避行为为能够激励供应商增加对零件质量水平的关注, 制造商愿意订购质量升级效果好的零件, 供应商愿意为零件质量升级投入更多努力成本, 但成本的增加自然也会使得零件售价提高。

**推论5** 在考虑制造商公平偏好行为时,  $Q$ 、 $p$ 、 $\theta$  与  $\mu$  负相关。

**证明** 分别对  $Q$ 、 $p$ 、 $\theta$  求关于  $\mu$  导数得

$$\frac{dQ}{d\mu} = \frac{1}{(8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2)^2} \{-2k\gamma^2 [D + \omega b \xi \alpha (1-\beta)^2 +$$

$$b\beta - \gamma c \alpha^2 - \gamma C] [8k\gamma \lambda \delta^2 A_3^2 + \eta^2 A_2^2 (2\lambda \delta^2 + \gamma)];$$

$$\frac{dp}{d\mu} = \frac{1}{(8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2)^2} \{-4k\gamma [D + \omega b \xi \alpha (1-\beta)^2 +$$

$$b\beta - \gamma c \alpha^2 - \gamma C] [\eta^2 \delta^2 \lambda A_2^2 + 8k\gamma (2\lambda \delta^2 + \gamma) A_1^2];$$

$$\frac{d\theta}{d\mu} = \frac{1}{(8k\gamma A_1 A_2 - \eta^2 A_2^2)^2} \{-8k\gamma^2 \eta A_2 [D + \omega b \xi \alpha (1-\beta)^2 +$$

$$b\beta - \gamma c \alpha^2 - \gamma C] [(2\lambda \delta^2 + \gamma)^2 + \gamma \mu (4\lambda \delta^2 + \gamma)].$$

其中,  $A_1 = \gamma(1+\mu)+\lambda\delta^2$ ;  $A_2 = \gamma(1+\mu)+2\lambda\delta^2$ ;  $A_3 = \gamma(1+2\mu)+2\lambda\delta^2$ ;  $A_4 = 3\gamma(1+\mu)+2\lambda\delta^2$ 。

根据定理2,  $8k\gamma(\gamma+\mu\gamma+\delta^2\lambda)(\gamma+2\mu\gamma+2\delta^2\lambda)-\eta^2(\gamma+\mu\gamma+2\delta^2\lambda)^2>0$ , 且  $b>0$ ,  $k>0$ ,  $\eta>0$ ,  $\gamma>0$ ,  $\xi>0$ ,  $\alpha\in[0,1]$ ,  $\beta\in[0,1]$ ,  $\omega\in[0,1]$ ,  $\lambda>0$ , 易得当  $\mu>0$  时,  $\frac{dQ}{d\mu}<0$ ,  $\frac{dp}{d\mu}<0$ ,  $\frac{d\theta}{d\mu}<0$ 。也就是说,  $p$ 、 $\theta$ 、 $Q$  与制造商的公平偏好程度负相关。这是因为制造商作为供应链中的弱势方, 对供应商存在嫉妒行为。当制造商考虑供应链中的公平问题时, 为使自身利益最大化, 往往采取更加保守的订货策略。供应商为迎合制造商的保守策略而降低零件售价, 使得自身利益受损, 只得减少质量升级努力成本以保证利润。

## 4 算例分析

本节主要通过具体数值验证上述推论的正确性。根据本文的模型假设, 假设  $D = 1000$ ,  $C =$

50,  $c = 35$ ,  $\delta = 5$ 。

### 4.1 最终产品质量水平对质量努力、零件售价、订货批量和供应链双方效用的影响

根据定理1, 假设  $k = 1$ ,  $b = 3$ ,  $\gamma = 1$ ,  $\eta = 2.5$ ,  $\alpha = 0.8$ ,  $\omega = 0.8$ 。本文分别考虑  $\alpha\omega\xi \geq \frac{1}{2}$  及  $\alpha\omega\xi < \frac{1}{2}$  两种情况, 各做  $\xi = 0.9$  和  $\xi = 0.6$  两种取值假设, 图1~5分别描述最终产品质量水平对  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $p$ 、 $\theta$  及  $Q$  的影响。

由图1~5可以看出, 当  $\alpha\omega\xi \geq \frac{1}{2}$  时, 随着  $\beta$  的增加,  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $p$ 、 $\theta$  及  $Q$  都有先减少再增长的趋势; 当  $\alpha\omega\xi < \frac{1}{2}$  时,  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $p$ 、 $\theta$  及  $Q$  均随  $\beta$  的增加而增长。这说明, 当最终产品质量水平较低而其关键零件初始质量水平较高时, 零件的质量升级水平会左右供应商与制造商的利润水平, 若市场对零件的质量升级水平要求过高, 高质量供应商与低质量制造商的合作会带来短期的利润降低。因此, 供应商选择与高质量水平制造商合作能够实现利润的最大

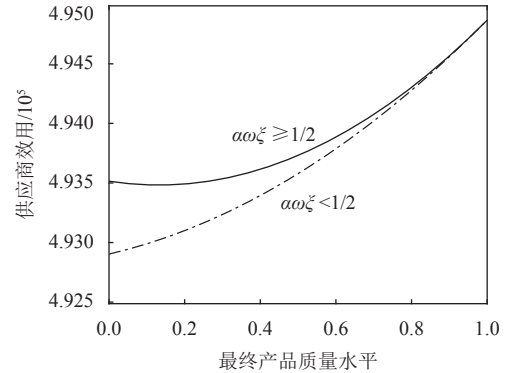


图1 最终产品质量水平对供应商效用的影响

Figure 1 The effect of the quality level of the final products on supplier's utility

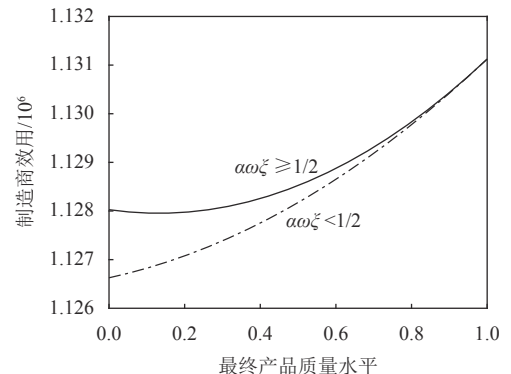


图2 最终产品质量水平对制造商效用的影响

Figure 2 The effect of the quality level of the final products on manufacturer's utility

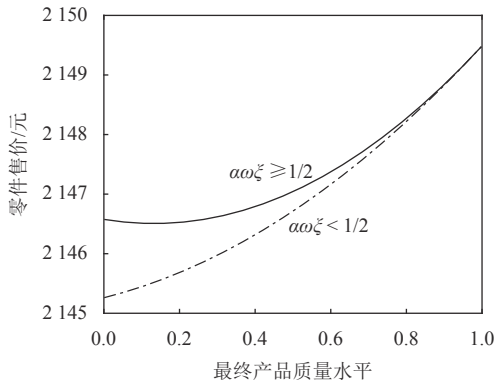


图 3 最终产品质量水平对零件售价的影响

Figure 3 The effect of the quality level of the final products on the price of parts

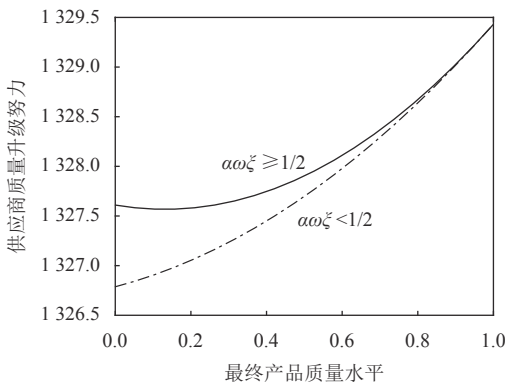


图 4 最终产品质量水平对供应商质量升级努力投入的影响

Figure 4 The effect of the quality level of the final products on supplier's quality upgrade effort

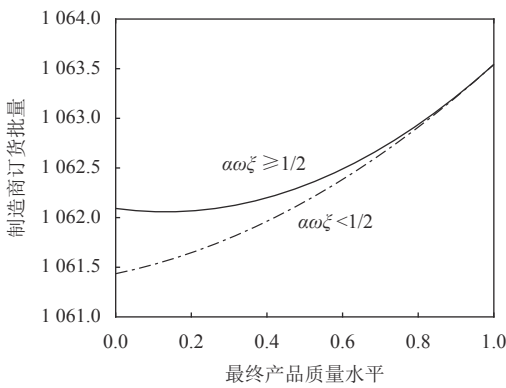


图 5 最终产品质量水平对制造商订货批量的影响

Figure 5 The effect of the quality level of the final products on manufacturer's order quantity

化, 制造商选择与处于质量升级水平高要求环境中的供应商合作有利于其利润水平的提升。

#### 4.2 零件初始质量水平对质量努力、零件售价、订货批量和供应链双方效用的影响

根据定理 1, 假设  $k = 1, b = 3, \beta = 0.7, \omega = 0.75, \xi = 0.6$ 。其中, 在零件初始质量对零件售价

影响的分析中, 本文分别考虑  $4\gamma k - \eta^2 < 0$  及  $4\gamma k - \eta^2 > 0$  两种情况下  $p$  的变化, 分别做  $\gamma = 1, \eta = 2.5$  和  $\gamma = 2, \eta = 2$  两种取值假设, 图 6 ~ 10 分别描述零件初始质量水平对  $U_s, U_m, p, \theta$  及  $Q$  的影响。

由于  $\frac{b\xi\omega e^{(1-\beta)^2}}{2c\gamma}$  及  $\frac{4bk\xi\omega(1-\beta)^2}{2c(\eta^2-4k\gamma)}$  非常小, 极值点几乎不具有实际意义, 因此数值仿真的结果显示  $U_s, U_m, p, \theta$  及  $Q$  均近似单调函数。由图 6 ~ 10 可明显看出, 随着零件初始质量水平的提升,  $U_s, U_m, \theta$  及  $Q$  单调递减; 当  $4\gamma k - \eta^2 < 0$  时,  $p$  随零件质量水平的提升而减少; 当  $4\gamma k - \eta^2 > 0$  时,  $p$  随零件质量水平的提升而增加;  $4\gamma k - \eta^2 < 0$  时的  $U_s, U_m, \theta, Q$  及  $p$  整体比  $4\gamma k - \eta^2 > 0$  时大。这表明随着零件质量水平的提升, 其质量升级活动对供应商和制造商的利益逐步减少, 供应商对零件投入的质量升级努力和制造商订货批量也将逐步减少。当市场对最终产品价格更为敏感时, 零件售价随零件初始质量水平提高而提

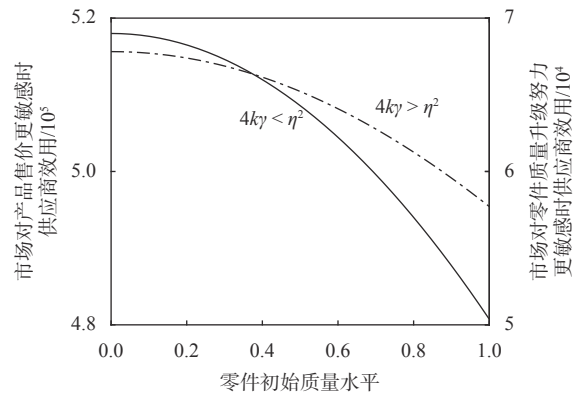


图 6 零件初始质量水平对供应商效用的影响

Figure 6 The effect of the initial quality level of the parts on supplier's utility

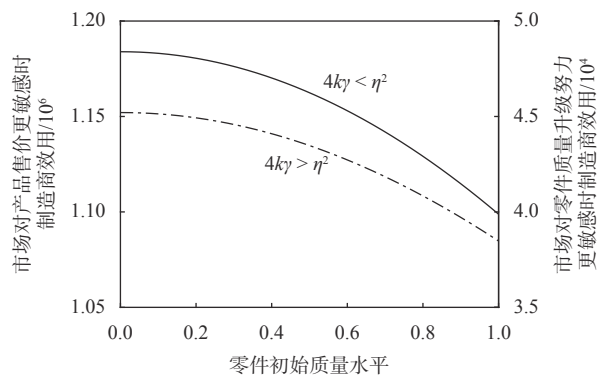


图 7 零件初始质量水平对制造商效用的影响

Figure 7 The effect of the initial quality level of the parts on the manufacturer's utility

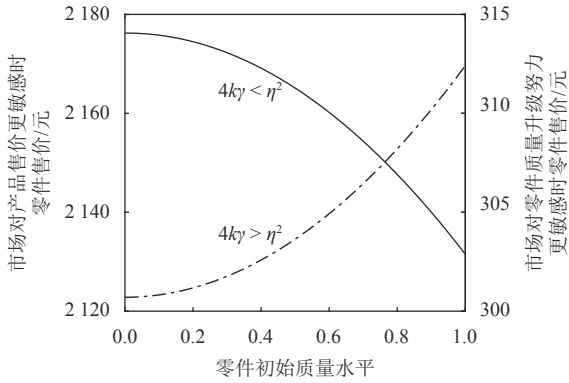


图 8 零件初始质量水平对零件售价的影响

Figure 8 The effect of the initial quality level of the parts on the price of parts

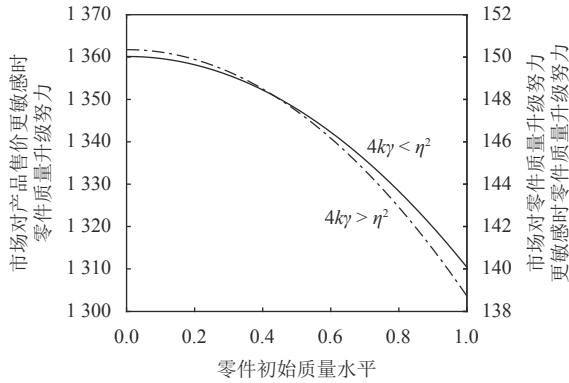


图 9 零件初始质量水平对供应商质量升级努力投入的影响

Figure 9 The effect of the initial quality level of the parts on supplier's quality upgrade effort

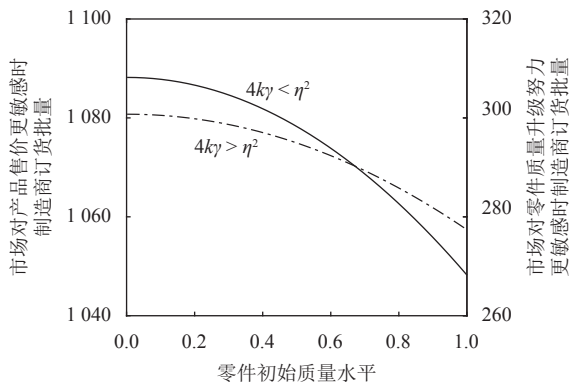


图 10 零件初始质量水平对制造商订货批量的影响

Figure 10 The effect of the initial quality level of the parts on manufacturer's order quantity

高；当市场对零件质量升级努力更敏感时，零件售价随零件初始质量水平提高而降低，且此时供应链双方能获得更大利润。因此，在市场要求零件质量升级的环境下，制造商与升级空间更大的供应商合作能够带来可观利润，处于追求产品更新效率的环境有利于制造商和供应商进行生产活动。

### 4.3 零件质量升级水平对质量努力、零件售价、订货批量和供应链双方效用的影响

根据定理1，假设  $k = 1$ ， $b = 3$ ， $\gamma = 1$ ， $\alpha = 0.6$ ， $\beta = 0.7$ ， $\eta = 1.5$ ， $\omega = 0.85$ 。图11~14分别描述零件质量升级水平对  $U_s$ 、 $U_m$ 、 $p$ 、 $\theta$  及  $Q$  的影响。

由图11~14可以明显看出， $U_s$ 、 $U_m$ 、 $p$ 、 $\theta$  及  $Q$  均随零件质量升级水平的增加单调递增，市场对质量的升级需求对供应链参与者都是有利的。因此，总体来看，质量升级水平要求较高的环境有利于供应商与制造商的合作，能够激励供应商加大质量升级努力投入，制造商也会加大订货批量，有利于开拓市场。

### 4.4 制造商行为偏好对质量努力、零件售价、订货批量的影响

根据定理2，假设  $k = 2$ ， $b = 5$ ， $\gamma = 1$ ， $\eta = 1$ ，

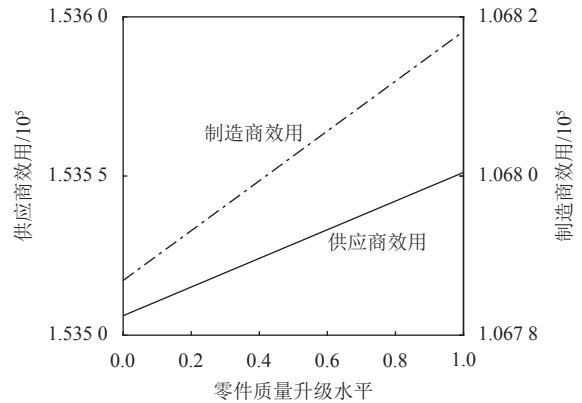


图 11 零件质量升级水平对供应链双方效用的影响

Figure 11 The effect of the quality upgrade level of the parts on the utility of both parties in the supply chain

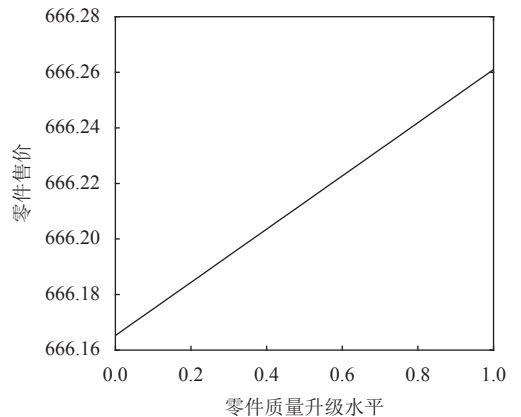


图 12 零件质量升级水平对零件售价的影响

Figure 12 The effect of the quality upgrade level of the parts on the price of parts

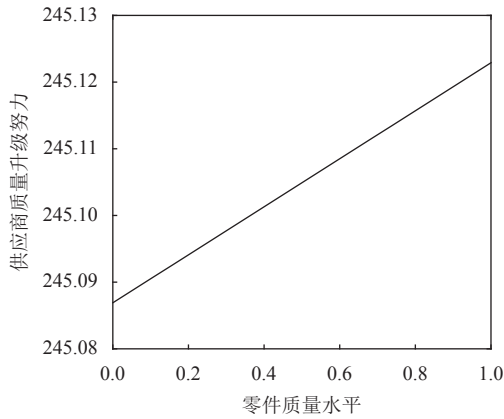


图 13 零件质量升级水平对供应商质量升级努力投入的影响  
Figure 13 The effect of the quality upgrade level of the parts on supplier's quality upgrade effort

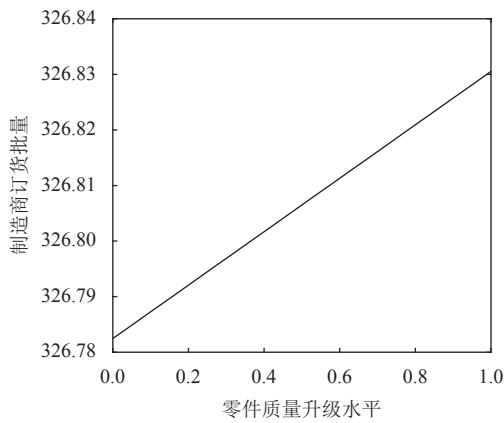


图 14 零件质量升级水平对制造商订货批量的影响  
Figure 14 The effect of the quality upgrade level of the parts on manufacturer's order quantity

$\alpha = 0.65$ ,  $\beta = 0.7$ ,  $\omega = 0.75$ ,  $\xi = 0.6$ ,  $\delta = 5$ , 图15~17分别描述制造商的风险规避和公平偏好行为对 $p$ 、 $\theta$ 及 $Q$ 的影响。

由图15~17可以明显看出,  $p$ 、 $\theta$ 、 $Q$ 与制造商的风险规避程度正相关, 与制造商的公平偏好程度

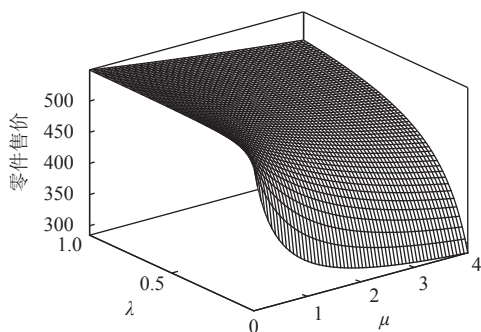


图 15 制造商公平偏好及风险规避行为对零件售价的影响  
Figure 15 The effect of manufacturers' fairness preference and risk aversion on the price of parts

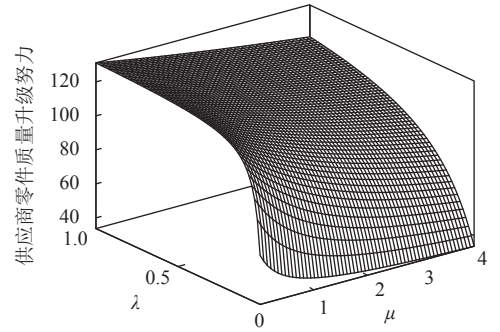


图 16 制造商风险规避及公平偏好行为对供应商质量升级努力投入的影响

Figure 16 The effect of manufacturers' fairness preference and risk aversion on supplier's quality upgrade effort

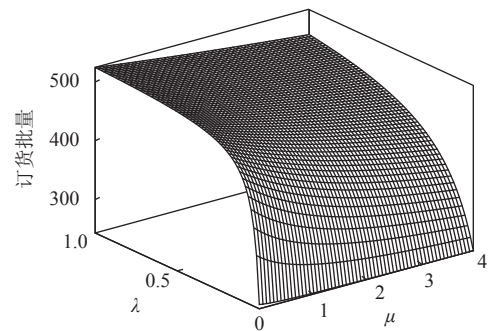


图 17 制造商风险规避及公平偏好行为对订货批量的影响

Figure 17 The effect of manufacturers' fairness preference and risk aversion on the manufacturer's order quantity

负相关。这表明制造商的风险规避行为能够促使供应商提高对零件质量升级的努力投入和售价, 也有利于最终产品扩大市场; 制造商的公平偏好行为会使供应商减少对零件质量升级的努力投入并降低售价, 最终产品市场需求也随之缩水。在实际生产中, 若想扩大市场, 制造商需减轻对供应商的嫉妒心理, 提高风险规避程度。

## 5 结语

本文构建一个由单个供应商和单个制造商组成的简单二级供应链, 为满足市场对零件质量不断提升的要求, 供应商需要决定为提升零件质量投入的质量升级努力和零件售价, 制造商决定从供应商订购零件的订货批量。引入风险规避和公平偏好参数, 构建二级供应链的博弈模型, 采用逆向求解法求得模型最优解, 研究制造商行为偏好对供应商质量升级努力决策及制造商订货决策的影响, 并进一步分析最终产品质量水平、零件质量水平及零件质量升级水平对供应商质量升级努力决策和制造商订货决

策的影响。研究结果如下。1) 当最终产品质量水平较低而零件质量水平较高时, 若零件质量升级水平较高, 供应链双方效用、零件售价、质量努力及订货批量随最终产品质量水平的增加先减少再增长; 若零件质量升级水平较低, 供应链双方效用、零件售价、零件质量升级努力及订货批量随最终产品质量水平的增加单调递增。2) 随着零件质量水平的提升, 供应链双方效用、零件质量升级努力及订货批量总体递减; 当市场对零件质量升级努力更为敏感时, 零件售价随零件质量水平的提升而减少; 当市场对最终产品价格更为敏感时, 零件售价随零件质量水平的提升而增长。3) 供应链双方效用、零件售价、零件质量升级努力、订货批量随零件质量升级水平的增加单调递增。4) 订货批量、零件质量升级努力、零件售价与制造商的风险规避程度正相关, 与制造商的公平偏好程度负相关。

本文仅对简单二级供应链做了研究, 在进一步的研究中, 可以拓展研究供应商之间或制造商之间存在竞争的情形。此外, 本文认为供应商产能充足, 能够满足市场需求, 在未来的研究中将深入讨论供应商有限产能对质量升级过程与定价的影响。

#### 参考文献:

- [1] 刘家国, 周学龙, 赵金楼. 基于产品质量差异的闭环供应链定价策略与协调研究[J]. 中国管理科学, 2013, 21(S2): 426-431.  
LIU Jianguo, ZHOU Xuelong, ZHAO Jinlou. Study on price decision and coordination of closed-loop supply chain based on quality difference of product[J]. Chinese Journal of Management Science, 2013, 21(S2): 426-431.
- [2] ZHANG Jie, KEVIN CHIANG Weiyu, LIANG Liang. Strategic pricing with reference effects in a competitive supply chain[J]. *Omega*, 2014, 44: 126-135.
- [3] 周雄伟, 蔡丹, 李世刚, 等. 基于网络外部性和质量差异化的产品定价策略[J]. 管理科学学报, 2019, 22(8): 1-16.  
ZHOU Xiongwei, CAI Dan, LI Shigang, et al. Monopoly pricing strategy of quality-differentiated products with network externality[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2019, 22(8): 1-16.
- [4] XIE G, YUE W, WANG S. Quality improvement policies in a supply chain with stackelberg games[J]. *Journal of Applied Mathematics*, 2014, 2014: 1-9.
- [5] 张翠华, 邢鹏, 王语霖. 考虑质量偏好的两阶段服务供应链质量控制策略[J]. 运筹与管理, 2017, 26(4): 37-46.  
ZHANG Cuihua, XING Peng, WANG Yulin. Quality control strategy considering quality preference under two phases in service supply chain[J]. *Operations Research and Management Science*, 2017, 26(4): 37-46.
- [6] 孙健慧, 张海波, 赵黎明. 三级装备制造业供应链质量管理行为研究[J]. 中国管理科学, 2018, 26(3): 71-83.  
SUN Jianhui, ZHANG Haibo, ZHAO Liming. Quality control behavior in the three-echelon equipment manufacturing supply chain[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2018, 26(3): 71-83.
- [7] 单汨源, 李淑君, 刘小红. 基于社会责任的供应链质量管理及收益共享成本共担决策研究[J]. 工业技术经济, 2019, 38(10): 23-30.  
SHAN Miyuan, LI Shujun, LIU Xiaohong. Consider the CSR: research on supply chain quality management and revenue sharing cost sharing decision[J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2019, 38(10): 23-30.
- [8] 王玖河, 赵慧, 王勇. 基于演化博弈的自有品牌供应链质量控制激励机制比较研究[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(19): 42-53.  
WANG Jiuhé, ZHAO Hui, WANG Yong. Comparative study on quality control incentive mechanism of private label supply chain based on evolutionary game[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2019, 49(19): 42-53.
- [9] 袁开福, 吴光强, 何波, 等. 碳交易下考虑质量升级的再制造供应链定价[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(5): 1586-1602.  
YUAN Kaifu, WU Guangqiang, HE Bo, et al. Pricing of remanufacturing supply chain considering quality upgrading under carbon trading[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2022, 28(5): 1586-1602.
- [10] 路正南, 杨鹏. 考虑回收品质量的再制造闭环供应链决策研究[J]. 生态经济, 2020, 36(8): 194-199.  
LU Zhengnan, YANG Peng. Research on decision-making of remanufacturing closed-loop supply chain considering recycled product quality[J]. *Ecological Economy*, 2020, 36(8): 194-199.
- [11] CHOI T. Impacts of retailer's risk averse behaviors on quick response fashion supply chain systems[J]. *Annals of Operations Research*, 2018, 268: 239-257.
- [12] 周岩, 胡劲松, 刘京. 考虑公平关切的双渠道绿色供应链决策分析[J]. 工业工程与管理, 2020, 25(1): 9-19.  
ZHOU Yan, HU Jinsong, LIU Jing. Decision analysis of a dual channel green supply chain considering the fairness concern[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2020, 25(1): 9-19.
- [13] 王永明, 余小华, 尹红丽. 基于风险规避和公平偏好的供应链收益共享契约协调研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(7): 148-159.  
WANG Yongming, YU Xiaohua, YIN Hongli. Revenue sharing contract coordination of supply chain considering risk and fairness dual preferences[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2021, 29(7): 148-159.
- [14] 张冲, 尤明钊. 零售商公平偏好下基于信用支付的供应链协调模型[J]. 工业工程与管理, 2022, 27(3): 44-53.  
ZHANG Chong, YOU Mingchuan. Decision model of supply chain based on credit payment considering retailer's fairness preference[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2022, 27(3): 44-53.