

控制与决策

Control and Decision

中断风险下考虑随机参照价格效应的复杂产品多源采购策略

储开伟, 朱建军

引用本文:

储开伟, 朱建军. 中断风险下考虑随机参照价格效应的复杂产品多源采购策略[J]. *控制与决策*, 2026, 41(2): 543-554.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2025.0622>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[考虑企业社会责任和公平偏好的绿色供应链决策](#)

Green supply chain considering fairness preference and corporate social responsibility

控制与决策. 2021, 36(7): 1743-1753 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1102>

[不同担保模式下考虑零售商公平关切的闭环供应链博弈模型](#)

Game models of closed-loop supply chain under different warranty modes considering retailer's fairness concerns

控制与决策. 2021, 36(6): 1489-1498 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1328>

[考虑成员企业风险态度的制造商资金约束闭环供应链定价与回收决策](#)

Pricing and recycling decisions of a closed-loop supply chain considering participants' risk attitudes and manufacturer capital constraint

控制与决策. 2021, 36(5): 1239-1248 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1305>

[模糊环境下考虑零售商风险偏好的绿色供应链博弈模型](#)

Modeling green supply chain games considering retailer's risk preference in fuzzy environment

控制与决策. 2021, 36(3): 711-723 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0646>

[损失厌恶下考虑参照利润效应的供应链决策模型](#)

Decision model of supply chain considering reference profit under loss aversion

控制与决策. 2020, 35(11): 2810-2816 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0094>

中断风险下考虑随机参照价格效应的复杂产品 多源采购策略

储开伟, 朱建军[†]

(南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 211106)

摘要: 在全球政治经济局势日益复杂多变的今天, 国际供应链面临着前所未有的挑战, 断链风险如影随形. 针对由一个制造商、两个供应商以及一个紧急供应商组成的二级供应链系统, 研究突发事件导致供应链中断时, 考虑消费者的购买决策易受随机参照价格影响的情形下, 制造商应如何进行定价决策以及采购策略的选择. 研究结果表明: 1) 当不可靠供应商中断概率和随机参照价格波动性较小时, 制造商选择单一供应商采购策略将获得更大的利润; 当中断概率较大时, 双源采购策略是制造商更好的选择. 2) 随机参照价格的波动性和中断概率均会显著影响制造商对各供应商采购量、供应商的批发价格、制造商定价以及产品的绿色度. 3) 不可靠供应商中断概率和随机参照价格波动性对于制造商定价决策的影响程度具有不确定性.

关键词: 双源采购; 随机参照价格效应; 绿色供应链; 中断概率; 离散程度; 风险厌恶性

中图分类号: F224; F274 **文献标志码:** A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2025.0622

引用格式: 储开伟, 朱建军. 中断风险下考虑随机参照价格效应的复杂产品多源采购策略 [J]. 控制与决策, 2026, 41(2): 543-554.

A multi-source procurement strategy of manufacturers considering stochastic reference price effect under risk of disruption

CHU Kai-wei, ZHU Jian-jun[†]

(College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

Abstract: In today's world with increasingly complex and volatile global political and economic dynamics, international supply chains face unprecedented challenges, with disruption risks constantly looming. This paper investigates a two-echelon supply chain system consisting of one manufacturer, two suppliers, and one emergency supplier, focusing on how manufacturers should make pricing decisions and select procurement strategies during supply chain disruptions caused by unexpected events, particularly considering the susceptibility of consumer purchasing decisions to random reference price effects. The results show that: 1) When the probability of disruption of unreliable suppliers and the volatility of random reference prices are small, manufacturers will obtain greater profits by choosing a single-supplier procurement strategy; When the probability of disruption is high, the dual-source sourcing strategy is a better choice for manufacturers. 2) The volatility and interruption probability of the random reference price will significantly affect the manufacturer's purchase volume of each supplier, the wholesale price of the supplier, the manufacturer's pricing and the greenness of the product. 3) The degree of influence of unreliable supplier disruption probability and random reference price volatility on manufacturers' pricing decisions is not determined.

Keywords: dual-source procurement; reference price effects; green supply chains; probability of interruption; degree of dispersion; risk aversion

0 引言

随着复杂产品供应链管理向精益化、全球化和绿色化方向发展^[1-3], 供应链在时间和空间上得到了

拓展延伸, 但是供应中断风险也随之加剧, 如 2020 年 ~ 2022 年期间, 受新冠疫情影响, 意大利 Leonardo 机翼工厂和德国 MTU 发动机部件供应商

收稿日期: 2025-06-12; 录用日期: 2025-10-08.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (72071106).

责任编委: 刘士新.

[†]通信作者. E-mail: zhujianjun@nuaa.edu.cn.

本文附带电子附录文件, 可登录本刊官网该文“资源附件”区自行下载阅览.

全面停产,导致空客 A320neo 的关键部件供应受阻,使得空客在 2021 年的整体产能缩减约 1/3. 由此可见,突发供应中断应急状态下的管控策略研究既关乎复杂产品制造企业的经济效益和持续发展,也是对整个产业链稳定运行的重大考验. 为应对可能发生的供应中断事件,采购商大多采用多源采购策略,包括事前采购和事后紧急采购两个方面. 事前采购方面: Han 等^[4]探讨了不同风险态度下双源策略中供应中断不确定性下的高效稳健规划; Lai 等^[5]以随机市场需求为前提,研究了国外供应商和国内供应商的双源采购决策问题; 牛保庄等^[6]研究了存在跨境供应中断可能性时,中国品牌商是否有动机与本土供应商合作以及采取双源采购策略保障供应稳定问题. 事后紧急采购方面: 徐鸿雁等^[7]在考虑信息更新的情况下探讨了两阶段动态采购决策模型,董霜霜等^[8]研究了供应中断风险下风险中性和损失规避零售商综合运用双源采购和紧急订购策略的多供应商采购问题. 文献调研表明,在供应中断的突发状态下,如何采取更为合适的多源采购策略是学术界和业界一直关注的问题.

此外,有学者通过对国内外采购模式研究现状梳理指出,应考虑消费者的购买行为特征来分析制造商采购策略的选择. 而参照价格是影响消费者购买行为的关键因素^[9-10],已有不少学者针对参照价格的影响因素、行为特征以及其对采购策略的影响进行了大量研究. 如: Köszegi 等^[11]研究发现消费者自身预期性行为和市场环境将决定消费者的参照价格,提出了预期参照理论并指出消费者参照价格具有随机性特征; Wenner^[12]通过实验表明了消费者的预期参照价格是一个随机变量,并指出预期参照价格会受到竞争产品价格、消费者购买经验或其他消费者口碑等市场信息的干扰; Sorger^[13]研究了在参照价格影响下联合定价和广告策略的局部稳定性; 孙立成等^[14]通过构建制造商主导的双渠道微分博弈模型并引入消费者低碳参考效应,分别分析了分散和集中情景下该效应对于双渠道宣传水平的影响; 王道平等^[15]基于报童模型和消费者期望效用理论,分析了参照价格效应对于购买行为以及预售定价的影响. 此外,2023 年工信部等四部门联合印发的《绿色航空制造业发展纲要(2023—2035 年)》明确指出复杂产品制造业未来要朝着绿色可持续性发展的方向前进,同时,也表明当前复杂产品的绿色化正处于初步发展阶段,市场并不成熟,价格并不稳定^[16]. 更重要的是,在当今互联网技术飞速发展的背景下,消费者能够轻松获取即时的购买环境信息,且获得信息的途径和时间差异较大,这使得消费者在选择绿色复杂

产品时参照价格的随机性更为显著^[17-19]. 因此,为更符合消费者的购物行为特征,本文将结合消费者的随机参照价格,研究中断风险下制造商的采购策略以及定价决策.

鉴于航空复杂产品供应链的错综复杂性,其原材料来源广泛且全球分布不均,供应链的运作高度依赖于跨国贸易的顺畅进行^[20-21]. 在当前全球贸易环境充满挑战的背景下,如贸易制裁的加剧和地区单边主义的抬头等多重因素交织,极大地增加了供应链中断的风险. 因此,本文聚焦于航空复杂产品供应中断这一特定情境,研究融入随机参照价格效应的多源采购策略问题,主要内容体现在以下 3 个方面:

1) 将制造商向非合作企业进行紧急采购的情形引入模型,构建制造商定价决策模型,分析中断概率和随机参照价格效应对于制造商定价决策和策略选择的影响.

2) 将参照价格效应引入制造商策略选择问题中并考虑其随机特性,分析面向供应中断的随机参照价格效应对于制造商进行策略选择和定价决策的影响.

3) 考虑风险厌恶特性对于供应链整体决策的影响,分析风险厌恶性供应商进行决策后,制造商如何进行定价决策的问题.

1 问题描述与模型假设

针对由两个小型飞机发动机供应商和一个制造商组成的二级供应链系统,研究中断风险考虑消费者受随机参照价格效应的影响下,制造商应如何合理地进行定价和渠道选择的问题,相关参数如表 1 所示,供应链结构如图 1 所示.

表1 基本符号及其含义

基本符号	含义
q_i^j	j 策略下制造商 M 对供应商 i 的采购量
λ	消费者随机参照价格敏感系数
p^j	j 策略下制造商 M 的定价
m	供应商 S_1 产品的基本市场需求
ω_i^j	j 策略下供应商 i 产品的单位采购价格
r	随机参照价格(均值为 μ , 方差为 σ^2 的随机变量)
c_i	供应商 i 产品的单位生产成本
d	价格对于不同品牌产品的影响系数
e^j	j 策略下采购产品的绿色度
η	供应商 S_1 对于风险的厌恶系数
π_i^j	j 策略下供应商 i 的利润
α	供应商 S_1 发生中断的概率
t	消费者的绿色偏好系数
β	绿色投入系数
Δ	两个供应商批发价差距,即价差
U_i^j	j 策略下供应商 S_1 的效用

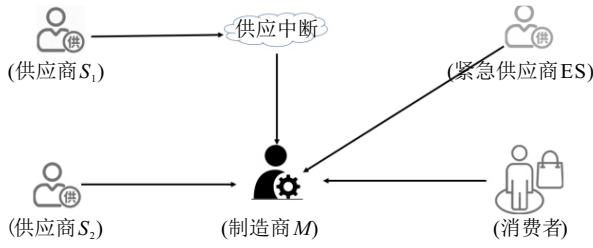


图1 供应链结构

考虑供应商原材料和生产力的不同, 供应商 S_1 可能会出现供应中断的情况, 发生中断后无法正常供货, 其中断概率为 α ; 供应商 S_2 不存在供应中断的情况. 当供应商 S_1 发生中断时, 由于订货的提前期和供应商 S_2 产能有限等问题, 制造商无法从供应商 S_2 进行订货, 但是, 可从紧急供应商 ES 处进行高价订货. 面对上游市场供应商供货的不确定性和下游市场消费者需求的动荡, 制造商有 3 种采购策略进行选择:

- 1) 仅从供应商 S_1 处采购, 当缺货时从紧急供应商 ES 处进行采购 (U 策略);
- 2) 仅从供应商 S_2 处采购 (R 策略);
- 3) 同时从供应商 S_1 和供应商 S_2 处进行采购, 当缺货时从紧急供应商 ES 处进行采购 (UR 策略).

相关假设如下:

假设 1 制造商 M 可向供应商 S_1 或供应商 S_2 进行采购同一类型产品 (即产品具有替代性) 的核心部件, 其中核心部件与产品的装配关系为 1:1, 即一个核心部件可装配成一个产品, 装配完成后进行加工发往下游消费者市场, 且两种供应商的核心部件不存在明显差异, 仅是供应商品牌不同.

假设 2 整条供应链处于完全信息状况下, 即制造商和供应商对消费者偏好、采购策略以及中断情况均完全知晓.

假设 3 假设产品的销售价格大于采购成本价格, 且紧急采购单价最高, 供应商 S_1 处采购单价最低, 即 $\omega_1^j < \omega_2^j < \omega_3^j < p^j$. 这是因为供应商 S_2 作为行业老牌供应商, 其供货对象有多个, 产能有限, 无法为制造商 M 进行紧急供货, 当供应商 S_1 供应中断时, 由于消费者订购合同等问题, 导致其会以更高的价格直接向市场中的非合作供应商购买产品. 同时, 为保障紧急采购时制造商有利可图, 设定销售定价大于所有渠道的采购单价.

假设 4 供应商 S_1 是市场中的“新人”, 对行业相对陌生, 且制造商 M 和供应商 S_2 具有更多的私人信息, 故其风险分散能力相比于老牌供应商 S_2 与制造商 M 更弱. 因此, 本文设制造商 M 和供应商 S_2 风险中性, 供应商 S_1 风险厌恶性, $\eta (\eta > 0)$ 为其厌恶系

数, η 越大, 供应商 S_1 的风险厌恶性越大^[20].

假设 5 假设消费者在购物过程中形成的随机参照价格为 r (其是均值为 μ , 方差为 σ^2 的随机变量), 这个随机参照价格将对消费者是否购买产品以及购买数量产生影响.

假设 6 设市场总的潜在需求为 1, 消费者对于供应商 S_1 品牌核心零件装配成产品的潜在需求为 m , 供应商 S_1 和供应商 S_2 的需求分别为

$$q_1 = m - dp - \lambda(p - r) + te, \quad (1)$$

$$q_2 = 1 - m - dp - \lambda(p - r) + te. \quad (2)$$

假设 7 为保证全策略所求均衡解为正, 设

$$3\beta(d + \lambda) < t^2 < 4\beta(d + \lambda). \quad (3)$$

2 模型构建

2.1 单一供应商 S_1 采购策略 (U 策略)

若供应商 S_1 发生中断, 制造商无法从其获取核心零部件, 需要向供应商 ES 进行紧急订货. 其对该供应商的核心零部件的采购量为 $q_1^U = 1 - dp^U - \lambda(p^U - r) + te^U$. 当供应商 S_1 发生中断时, 供应商 S_1 的利润函数为 $\pi_1^U = 0$, 制造商 M 的利润函数为 $\pi_0^U = (p^U - \omega_3)q_1^U$; 当供应商 S_1 不发生中断时, 供应商 S_1 的利润函数为 $\pi_1^U = (\omega_1^U - c_1)q_1^U - 1/2\beta(e^U)^2$, 制造商 M 的利润函数为 $\pi_0^U = (p^U - \omega_1^U)q_1^U$. 由于供应风险具有不确定特征, 通过期望收益进行决策, 制造商和供应商的目标函数为

$$\begin{cases} \text{Max}(U_1^U) = (1 - \alpha)(\omega_1^U - c_1)q_1^U - \frac{1}{2}\beta(e^U)^2 - \\ \quad \eta(\omega_1^U - c_1)\lambda\sigma, \\ \text{Max}E(\pi_0^U) = (1 - \alpha)(p^U - \omega_1^U)q_1^U + \\ \quad \alpha(p^U - \omega_3)q_1^U. \end{cases}$$

针对以上问题采用逆向归纳法进行分析求解, U_1^U 是关于 ω_1^U 和 e^U 的联合凹函数, $E(\pi_0^U)$ 是关于 p^U 的凹函数, 均存在最优解. 为方便化简, 令 $f(k) = t^2 - k\beta(d + \lambda)$ (k 为整数). $A = (\alpha - 1)(d + \lambda) < 0$, $B = \beta(\alpha - 1)(d + \lambda)(1 + \mu\lambda) < 0$, $C = \eta\lambda\sigma(d + \lambda)$, $F_1 = (1 - \alpha)c_1 + c_2 + \alpha\omega_3$. 经计算, 可得到单一供应商 S_1 采购策略下制造商 M 的最优定价、采购量、供应商 S_1 的最优批发价和产品的最优绿色度分别为

$$p^{U*} = (-6B(d + \lambda) - 2f(-2)C - 2Af(1)(-Ac_1 + (A + d + \lambda)\omega_3)) / (2A(d + \lambda)f(4)),$$

$$q_1^{U*} = (-B(d + \lambda) - f(2)C - A\beta(d + \lambda)(-Ac_1 + (A + d + \lambda)\omega_3)) / (Af(4)),$$

$$\omega_1^{U*} = \frac{(\alpha - 1)Af(2)c_1 + 2(B + C) + A(A + d + \lambda)\omega_3}{(\alpha - 1)Af(4)},$$

$$e^{U^*} = \frac{-tC - 2\beta C + A - A(c_1 + (A + d + \lambda)\omega_3)}{A\beta f(4)}$$

对上述得到的造商M的最优定价、采购量、供应商S₁的最优批发价和产品的最优绿色度进一步求解, 可得到制造商M和供应商S₁的期望利润最大值分别为

$$\begin{aligned} \pi_0^{U^*} &= (-B(d + \lambda) + f(2)C + A\beta(d + \lambda)(-Ac_1 + (A + d + \lambda)\omega_3))/(A^2 f(4)), \\ U_1^{U^*} &= B^2 - 4\beta^2 C^2 + 2A^2\beta^2(d + \lambda)(1 + \mu\lambda) \\ &\quad (-Ac_1 + (A + d + \lambda)\omega_3)^2/(2\beta A^2 f(4)). \end{aligned}$$

2.2 单一供应商S₂采购策略(R策略)

制造商M单独向供应商S₂进行采购, 与单一供应商S₁策略不同之处在于供应商S₂不存在供应中断的情况, 因此, 制造商M也不存在紧急采购的情形. 对S₂供应商的核心零件的采购量为 $q_2^R = 1 - dp^R - \lambda(p^R - r) + te^R$. 故制造商M和供应商S₂的目标函数为

$$\begin{cases} \text{Max}(\pi_2^R) = (\omega_2^R - c_2)q_2^R - \frac{1}{2}\beta(e^R)^2, \\ \text{Max}E(\pi_0^R) = (p^R - \omega_2^R)q_2^R. \end{cases}$$

针对上述问题同样采用逆向归纳法进行分析求解, π_2^R 是关于 ω_2^R 和 e^R 的联合凹函数, $E(\pi_0^R)$ 是关于 p^R 的凹函数, 均存在最优解, 经计算, 可得到单一供应商S₂采购策略下制造商M的最优定价、采购量、供应商S₂的最优批发价和产品的最优绿色度分别为

$$\begin{aligned} p^{R*} &= \frac{-3\beta(1 + \mu\lambda) + f(1)c_2}{f(4)}, \\ q_2^{R*} &= \frac{-\beta(d + \lambda)(1 + \mu\lambda - (d + \lambda)c_2)}{f(4)}, \\ e^{R*} &= \frac{t(\beta(d + \lambda)c_2 - (1 + \mu\lambda))}{f(4)}, \\ \omega_2^{R*} &= \frac{-2\beta(1 + \mu\lambda) + t^2 - 2\beta(d + \lambda)c_2}{t^2 - 4\beta(d + \lambda)}. \end{aligned}$$

对上述得到的制造商M的最优定价、采购量、供应商S₂的最优批发价和产品的最优绿色度进一步求解, 可得到制造商M和供应商S₂的期望利润最大值分别为

$$\begin{aligned} E(\pi_0^{R*}) &= \frac{\beta^2(d + \lambda)(1 + \mu\lambda - (d + \lambda)c_2)^2}{(f(4))^2}, \\ \pi_2^{R*} &= \frac{-\beta(1 + \mu\lambda - (d + \lambda)c_2)^2}{2f(4)}. \end{aligned}$$

2.3 双源采购策略(UR策略)

由于供应商S₁存在供应中断的风险, 供应商S₂不存在供应中断的情况, 当制造商M采用双源采购策略时: 当供应商S₁正常供货时, 制造商M同时

从两个供应商处获得产品; 当供应商S₁中断时, 制造商M从供应商S₂处获得一部分产品, 另外一部分产品通过紧急采购从供应商ES处获得. 结合对两种单一采购策略的分析, 易得到供应商S₁的采购量为 $q_1 = m - dp - \lambda(p - r) + te$, 供应商S₂的采购量为 $q_2 = 1 - m - dp - \lambda(p - r) + te$, 故供应商S₁、S₂和制造商M的目标函数为

$$\begin{cases} \text{Max}(U_1^{\text{UR}}) = (1 - \alpha)(\omega_1^{\text{UR}} - c_1)q_1^{\text{UR}} - \frac{1}{2}\beta(e^{\text{UR}})^2, \\ \text{Max}(\pi_2^{\text{UR}}) = (\omega_2^{\text{UR}} - c_2)q_2^{\text{UR}} - \frac{1}{2}\beta(e^{\text{UR}})^2, \\ \text{Max}E(\pi_0^{\text{UR}}) = \\ \alpha(p^{\text{UR}} - \omega_3)q_1^{\text{UR}} + (1 - \alpha)(p^{\text{UR}} - \omega_1^{\text{UR}})q_1^{\text{UR}} + \\ (p^{\text{UR}} - \omega_2^{\text{UR}})q_2^{\text{UR}}. \end{cases}$$

采用逆向归纳法思路, $E(\pi_0^{\text{UR}})$ 是关于 p^{UR} 的凹函数, π_2^{UR} 是关于 ω_2^{UR} 和 e^{UR} 的联合凹函数, U_1^{UR} 是关于 ω_1^{UR} 和 e^{UR} 的联合凹函数, 均衡解均存在, 经求解, 可得到制造商M的最优定价、采购量、供应商S₁和供应商S₂的最优批发价和产品的最优绿色度分别为

$$\begin{aligned} q_1^{\text{UR}*} &= (-A\beta(d + \lambda)(12m - 5 + 2\mu\lambda) - 4Cf(1) + A\beta(d + \lambda)^2 F_1)/(4Af(3)), \\ q_2^{\text{UR}*} &= -4t^2((2m - 1)A + C + \beta A((12m - 2\mu\lambda - 7) + 4C) + A\beta(d + \lambda)^2 F_1)/ \\ &\quad (4Af(3)), \\ \omega_1^{\text{UR}*} &= ((\alpha - 1)^2 f(2)c_1 + \beta((\alpha - 1)(12m - 5 + 2\mu\lambda) + 8\eta\lambda\sigma - A(c_2 + \alpha\omega_3)))/((\alpha - 1)^2 f(3)), \\ \omega_2^{\text{UR}*} &= (A(8m - 4)f(0) + \beta(d + \lambda)^2 \times (7 - 12m + 2\mu\lambda) + 4Cf(1) + A\beta(d + \lambda)^2)/(-A(d + \lambda)f(3)), \\ p^{\text{UR}*} &= (-3(f(0) + 2\beta(d + \lambda) + 4\eta\lambda\sigma(3f(0) + \beta(d + \lambda)) + 2AF_1))/(4Af(3)). \end{aligned}$$

进一步求解, 可得到制造商M、供应商S₁和供应商S₂的期望利润最大值分别为

$$\begin{aligned} \pi_0^{\text{UR}*} &= \frac{F_2}{16(1 - \alpha)Af(3)^2}, \quad \pi_1^{\text{UR}*} = \frac{F_3}{8Af(3)^2}, \\ \pi_2^{\text{UR}*} &= \frac{F_4}{8Af(3)^2}. \end{aligned}$$

3 均衡结果分析

3.1 模型对比分析

命题 1 1) 当 $0 < \sigma < Y_1$ 时, $p^{\text{UR}*} < p^{U*} < p^{R*}$; 2) 当 $Y_1 < \sigma < Y_2$ 时, $p^{U*} < p^{\text{UR}*} < p^{R*}$; 3) 当 $\sigma > Y_2$ 时, $p^{U*} < p^{R*} < p^{\text{UR}*}$; 4) 无论 σ 的大小如何, 总有 $p^{U*} < p^{R*}$. 其中

$$Y_1 = (12Bf(3) - 5f(4)(-f(0) + 2A\beta) - 6Af(4)f(1)F_1) / (8\eta\lambda(f(1)^2 + 3\beta f(0)(d + \lambda))),$$

$$Y_2 = (5f(4)(2A\beta - f(0) + 4f(3)(Af(1) - 3B) + 2Af(4)f(1)F_1) / (4\eta\lambda f(4)(f(-1) + 2f(0))).$$

由命题 1 可知, σ 存在两个阈值 Y_1 和 Y_2 . 当 $0 < \sigma < Y_1$ 时, 即随机参照价格波动性小于 Y_1 时, 双源采购策略的销售定价是所有策略下最低的. 这是因为单源采购时供应商处于核心垄断地位, 能够有更大的议价权, 从而会选择更高的批发定价来提升自己的利润, 进而制造商为维持自身利润也会同步提高产品定价; 而双源采购时供应商间存在竞争博弈, 这导致各供应商批发价降低, 制造商也会降低定价以吸引更多的消费者. 当 $Y_1 < \sigma < Y_2$ 时, 双源采购策略的销售定价介于单一供应商 S_1 采购策略与单一供应商 S_2 采购策略间. 这主要是因为随着 σ 的增大, 双源采购下制造商的利润受影响的程度较大, 这使得制造商有动机通过提高产品的销售定价来确保自身的利益不受损失. 当 $\sigma > Y_2$ 时, 双源采购策略的销售定价是所有策略下最高的. 在这种情况下, 随机参照价格的波动性使得制造商不得不通过大幅度提高产品定价来保全自身利润, 即使这有可能会造成上游供应商成员的利润损失. 无论在何种情况下, 制造商在单一供应商 S_1 采购策略的销售定价总是低于单一供应商 S_2 采购策略的定价, 这一现象本质上源于供应商 S_1 与供应商 S_2 间的批发价格差异: 由于供应商 S_2 的单位批发成本显著高于供应商 S_1 , 导致制造商在采购渠道重构过程中产生额外的渠道成本增量. 为维持既定的利润水平, 制造商通过实施动态定价策略, 将上升的批发采购成本以价格传递的形式转嫁给终端消费者群体.

命题 2 1) 当 $0 < \sigma < Y_3$ 时, $q_2^{UR*} < q_2^{R*}$; 否则, $q_2^{UR*} > q_2^{R*}$. 2) 当 $0 < \sigma < Y_4$ 时, $q_1^{UR*} < q_1^{U*}$; 否则, $q_1^{UR*} > q_1^{U*}$. 3) 任何情况下, $q_1^{UR*} > q_2^{UR*}$. 其中

$$Y_3 = (4A\beta(1 - (d + \lambda)c_2)f(3) - A\beta f(4) - 2f(0)f(3) - A\beta(d + \lambda)f(4)F_1) / (4\eta(4)f(1)),$$

$$Y_4 = (8\eta\lambda f(2) + A(d + \lambda)f(4)F_1 - A\beta(12m - 6)f(4)) / (4\eta\lambda f(1)f(4)).$$

由命题 2 可知, σ 存在两个阈值 Y_3 和 Y_4 . 当 $0 < \sigma < Y_3$ 时, 双源采购策略下的供应商 S_2 的采购量小于单一供应商 S_2 下的采购量; 否则, 其大于单一供应商 S_2 下的采购量. 当 $0 < \sigma < Y_4$ 时, 双源采购策略下对供应商 S_1 的采购量低于单一供应商 S_1 策略的采购量; 否则, 其大于对单一供应商 S_1 策略的采购量. 研

究表明, 在双源采购决策框架下, 制造商 M 的采购策略呈现显著的随机参照价格敏感性特征. 具体而言, 当随机参照价格的波动幅度处于较低水平时, 制造商为优化利润函数, 会通过战略性降低对供应商 S_1 的采购配额来实现边际收益最大化; 反之, 当参照价格的随机性程度较高时, 由于价格波动引致的预期效用损失显著增强, 制造商将采取风险对冲策略, 通过提高对供应商 S_1 和供应商 S_2 的总采购量来构建利润保障机制. 值得注意的是, 在双源采购模式下, 制造商对存在供应中断风险的供应商 S_1 的采购量始终高于无风险供应商 S_2 , 这一非对称采购决策源于成本-风险权衡的理性选择. 虽然供应商 S_1 固有的供应可靠性缺陷要求制造商承担潜在的紧急采购成本, 但是其具有较低的采购单价, 可提升采购经济性.

命题 3 $e^{UR*} > e^{R*} > e^{U*}$.

由命题 3 可知: 双源采购策略的产品绿色度最高, 单一供应商 S_2 采购策略次之, 单一供应商 S_1 采购策略的产品绿色度最低. 这表明在双源采购策略情况下, 供应商 S_1 与供应商 S_2 存在竞争关系, 为获取更多的市场份额, 双方均有动机提高产品的绿色度来提高消费者对于产品的需求以获取更多的利润. 单一供应商 S_2 采购策略下的产品绿色度大于单一供应商 S_1 采购策略下的产品绿色度, 则是因为供应商 S_2 相较于供应商 S_1 本来就具有技术优势, 当不存在竞争时, 其生产产品的绿色度就会大于技术劣势方的供应商 S_1 .

命题 4 1) $\omega_1^{UR*} > \omega_1^{U*}$, $\omega_2^{UR*} > \omega_2^{R*}$; 2) $\omega_1^{UR*} < \omega_2^{UR*}$, $\omega_1^{U*} < \omega_2^{R*}$.

供应商 S_1 与供应商 S_2 的批发价均比两种单一供应商采购策略下的批发价高. 这与一般情形下供应商互相竞争而打“价格战”恰恰相反. 这种情形出现的原因是在双源采购情形下, 供应商间存在竞争, 处于价格劣势的供应商 S_2 获得的采购量总是会比供应商 S_1 的少, 这也导致了供应商 S_2 有动机加价来获取更多的利润, 虽然这种加价会导致制造商 M 对其的采购量进一步下降, 但是, 总体上会给供应商 S_2 带来更多的利润. 同时, 供应商 S_1 在看到对方上涨价格时, 也会出于获取更大的利润, 进行批发价格上调, 最终造成双源采购策略下的批发价格比单一采购策略下的高. 从生产技术和供货稳定性方面来看, 供应商 S_2 相对于供应商 S_1 而言各方面均更成熟, 更具优势, 因而具有更大的议价权, 制造商 M 也会在供应稳定性方面进行考虑, 因此, 在任何情形下供应商 S_2 的批发价均会比供应商 S_1 的要高.

3.2 参数灵敏度分析

$$\text{命题 5} \quad \frac{\partial p^{\text{UR}*}}{\partial \alpha} > 0, \quad \frac{\partial \omega_1^{\text{UR}*}}{\partial \alpha} > 0, \quad \frac{\partial \omega_2^{\text{UR}*}}{\partial \alpha} > 0, \\ \frac{\partial e^{\text{UR}*}}{\partial \alpha} > 0.$$

随着供应商 S_1 中断概率 α 增大, 制造商 M 的定价、供应商 S_1 和供应商 S_2 所给出的批发价格和产品的绿色度均随着增大. 这是因为当供应商 S_1 中断概率 α 增大时, 无法给制造商 M 供货的可能性增加, 供应商 S_1 为了尽可能地减少供应中断给自身带来的收益损失, 有动机提高产品批发价格, 同时, 也会提高产品的绿色度来扩大市场需求, 从而在中断前积累足够的利润. 当供应商 S_1 中断概率 α 增大时, 供应商 S_2 成为供应链上游垄断者的可能性便更大, 从而供应商 S_2 有理由提高产品的批发价格和产品的绿色度, 为自身争取更大的收益. 当供应商 S_1 中断概率 α 增大时, 受上游供应商 S_1 和供应商 S_2 产品批发价格上升的影响, 制造商 M 为确保自身收益, 会提升产品的定价, 以抵消来自产品成本变化对收益带来的不利影响.

$$\text{命题 6} \quad \frac{\partial p^{\text{UR}*}}{\partial \sigma} > 0, \quad \frac{\partial \omega_1^{\text{UR}*}}{\partial \sigma} > 0, \quad \frac{\partial \omega_2^{\text{UR}*}}{\partial \sigma} > 0, \\ \frac{\partial e^{\text{UR}*}}{\partial \sigma} > 0.$$

随着消费者随机参照价格离散程度 σ 的增大, 供应商 S_1 和供应商 S_2 为使得自身收益得到保障会从两方面采取行动: 一方面提高产品批发价格来提升产品边际收益; 另一方面提高产品的绿色度来刺激市场需求. 对于制造商 M 而言, 随机参照价格离散程度 σ 的增大致使上游供应商产品的批发价格增加, 虽然同步增加的产品绿色度会提升市场需求, 但是, 其程度不足以抵消成本增加带来的利润的损失, 因此, 制造商 M 会为了确保利润而提高产品的定价.

4 拓展

前文研究基于理性经济人假设, 假定各供应商均以自身利益最大化为目标独立制定决策 (即分散决策模式). 然而, 在现实产业环境中, 供应商并非总是孤立决策——部分行业情境下, 供应商群体可能会通过正式协议或隐性默契形成共谋行为, 即原本相互竞争的供应商放弃独立定价权, 转而联合构成一个协同决策主体, 共同制定向制造商提供产品的统一批发价格, 同时共享绿色研发技术. 这种共谋行为本质上是一种战略协作, 旨在通过联合垄断或价格协调机制来获取高于非合作情形下的联合利润, 进而改变供应链权力结构和利益分配格局. 鉴于此, 本文在既有分散决策模型的基础上进行拓展, 进一步探讨双源采购策略下供应商共谋行为对制造商采购决策的传导效应和影响机制. 制造商和供应链整

体利润函数为

$$\begin{cases} \text{Max}(E(\pi_0^C)) = \\ \alpha(p^C - \omega_3)q_1 + (1 - \alpha)(p^C - \omega_c)q_1 + (p^C - \omega_c)q_2, \\ \text{Max}(E(\pi_s^C)) = (1 - \alpha)(\omega_c - c_1)q_1 + (\omega_c - c_2)q_2 - \\ \frac{1}{2}\beta e^{C^2} - \eta(\omega_c - c_1)\lambda\sigma. \end{cases}$$

采用逆向归纳法思路, $E(\pi_0^C)$ 是关于 p^C 的凹函数, $E(\pi_s^C)$ 是关于 ω_c 和 e^C 的联合凹函数, 均衡解均存在, 经求解, 可得到制造商 M 的利润、最优定价、采购量、供应商 S_1 和供应商 S_2 的最优批发价和产品的最优绿色度分别为

$$\begin{aligned} \pi_0^C &= \frac{F_5}{16(2 - \alpha)(A - 1)f(2)}, \\ \omega_c &= (\beta(-2 - 4\mu\lambda + \alpha(3 - 4m + 2\mu\lambda)) + 4\eta\lambda\sigma) + \\ &\quad (-2 + \alpha)f(1)F_1 / ((-2 + \alpha)^2 f(2)), \\ e^C &= t(2 + 4\mu\lambda + \alpha(-3 + 4m - 2\mu\lambda)) - 4\eta\lambda\sigma - \\ &\quad (-2 + \alpha)(d + \lambda)F_1 / (2(-2 + \alpha)f(2)), \\ p^C &= (f(0)((-2 + 4m)\alpha - 4\eta\lambda\sigma) + \beta(d + \lambda)B - \\ &\quad (A - 1)(f(0) + f(1))F_1) / (4(A - 1)f(2)), \\ q_1^C &= (f(0)(-4 + 8m - 4\eta\lambda\sigma) + \beta(d + \lambda)(C + \\ &\quad 4\eta\lambda\sigma + (A - 1)F_1)) / (4(-2 + \alpha)f(2)), \\ q_2^C &= (-\beta(d + \lambda)(6 + 4m(-4 + 3\alpha)C) + \\ &\quad f(0)(B + (A - 1)F_1)) / (4(-2 + \alpha)f(2)). \end{aligned}$$

推论 1 1) $\omega_c > \omega_1^{\text{UR}}, \omega_2^{\text{UR}} > \omega_1^{\text{UR}}$. 2) 当 $\sigma > Y_5$ 时, $\omega_c > \omega_2^{\text{UR}}$; 否则, $\omega_c < \omega_2^{\text{UR}}$, 其中

$$\begin{aligned} Y_5 &= Af(3)(-3Af(3) + A\beta f(2) + \\ &\quad Af(2)f(3)(f(0) - 3)c_2 + F_1 - A\beta) / \\ &\quad (4\eta\lambda f(1)). \end{aligned}$$

由推论 1 可知, 在双源采购策略框架下, 无论供应商间是否存在共谋行为, 供应商 S_1 所提供的产品批发价格始终处于最低水平. 进一步地, 存在一个关键阈值 Y_5 , 当 $\sigma > Y_5$ 时, 在供应商共谋情境下, 两个供应商通过联合决策所制定的产品批发价格将高于双源采购策略中供应商 S_2 的批发价格; 反之, 则低于供应商 S_2 的批发价格. 这一发现揭示了供应商共谋行为对于产品批发定价机制的影响: 共谋行为在一定程度上会推高产品的平均批发价格. 然而, 对于供应商 S_2 而言, 共谋后所形成的联合批发价格并非必然高于共谋前的独立批发价格, 其具体高低取决于随机参照价格的波动程度. 当随机参照价格的波动性较强时, 供应商倾向于制定较高的联合批发价格, 以此缓冲消费者需求波动所带来的市场风险, 进而维护自身的经济利益. 尽管这种策略可能会导致消费者购买意愿下降、市场需求进一步萎缩, 但是, 供应商仍然可能基于风险规避的考量而选择维持较高

的批发定价.

推论 2 1) $q_2^C > q_2^{UR}$, $q_1^C < q_1^{UR}$; 2) $q_1^C + q_2^C < q_1^{UR} + q_2^{UR}$.

由推论 2 的分析结果可知, 在供应商共谋情形下, 制造商将调整其采购策略: 一方面, 减少对供应商 S_1 的采购量, 同时增加对供应商 S_2 的采购量; 另一方面, 制造商对两个供应商的整体采购总量亦呈现下降趋势. 这一采购策略的调整表明, 当供应商间形成共谋并导致产品单位采购价格整体上升时, 制造商倾向于通过降低总体采购规模以应对成本上涨的压力. 与此同时, 制造商会重新配置采购份额, 将更多的采购量分配给供应商 S_2 , 以此分散供应链中断风险, 增强采购组合的鲁棒性.

5 数值分析

为深入研究航空企业在何种情况下应采纳多源采购策略, 本文以 A 公司在 B 项目中对 FJ44-2A 型发动机和 TFE731-40AR 型发动机的采购实践为案例, 结合行业特性进行数值分析. 参考董霜霜等^[8]和林志炳等^[17]对参数取值的设置, 主要分析中断概率 α 和随机参照价格 σ 的波动性大小对于各参数的影响, 其他外生变量对于模型结果稳健性影响较小, 因此, 在考虑市场产品的实际价格区间的同时, 为不失一般性, 所提出模型基本参数具体设定如下: $\eta = 1$, $\lambda = 0.6$, $c_1 = 0.1$, $c_2 = 0.15$, $\omega_1 = 0.2$, $\omega_2 = 0.3$, $\omega_3 = 0.4$, $t = 0.4$, $\mu = 0.6$, $d = 0.3$, $\beta = 1$.

5.1 中断概率和波动性对于制造商利润的影响

图 2 为不同策略下 α 、 σ 对于制造商利润的影响. 由图 2 可见, 当供应商 S_1 的中断概率 α 较低时, 双源采购策略与单一供应商 S_1 策略下制造商的利润均低于单一供应商 S_2 策略; 随着 α 增大, 当 $\alpha > 0.36$ 时, 双源采购策略的利润超过单一供应商 S_1 策略; 当 $\alpha > 0.77$ 时, 双源采购策略成为制造商的最优选择. 对于单一供应商 S_1 策略, 制造商利润随 α 增大先降后升——初期因中断概率上升迫使制造商与供应商同步提价, 利润下降; 但是随着 α 进一步增大, 制造商定价涨幅超过批发价涨幅, 推动利润回升. 当 σ 较小时, 单一供应商 S_2 策略为制造商的最优选择; 随着 σ 增大, 双源采购策略的利润呈递增趋势, 当 $\sigma > 0.40$ 时, 超过单一供应商 S_1 策略, 当 $\sigma > 0.83$ 时, 双源采购策略成为最优策略. 单一供应商 S_1 策略的利润呈抛物线变化, 最低点对应制造商定价涨幅与供应商批发价涨幅平衡, 后续利润回升源于更高定价带来的收益. 对比图 2(a) 与图 2(b) 可见, α 对于制造商利润的影响程度始终强于 σ .

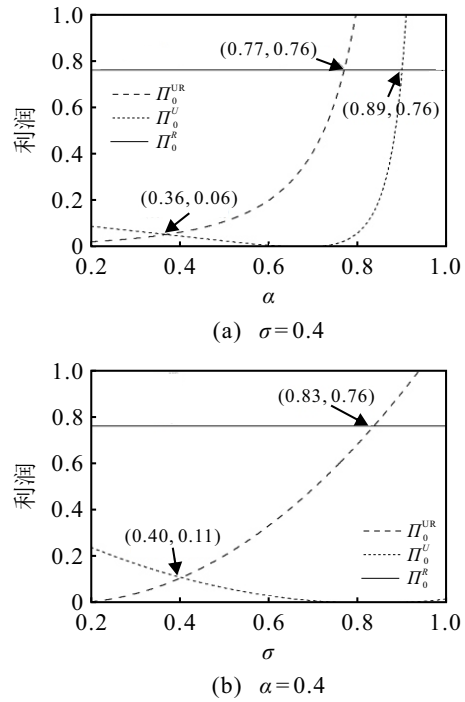


图2 不同策略下 α 、 σ 对于制造商利润的影响

5.2 中断概率和波动性对于各供应商批发量的影响

图 3 为双源采购策略下 α 、 σ 对于供应商采购量的影响. 由图 3(a) 可见, 在制造商 M 选择双源采购策略时, 随着供应商 S_1 中断概率的增大, 制造商会加大对其的采购量, 以尽可能地在其中断发生前获取更多的产品; 另一方面, 制造商也会增加对供应商 S_2 的批发量, 以弥补供应商 S_1 中断产生的产品缺口, 从而尽可能地减少高价的紧急采购. 但是, 制造商 M 对二者的采购量总是供应商 S_1 大于供应商 S_2 , 这

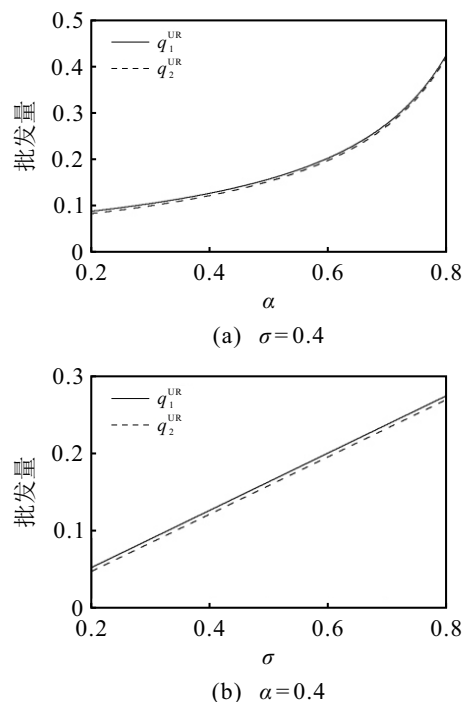


图3 双源采购策略下 α 、 σ 对于供应商采购量的影响

主要是因为供应商 S_1 相较于供应商 S_2 具有更低的批发价格. 由图3(b)可见, 随着随机参照价格波动性 σ 的增大, 制造商 M 对两个供应商的采购量均是增大的. 对供应商 S_1 的采购量曲线总是在供应商 S_2 的曲线之上, 理由与图3(a)一致.

5.3 中断概率和波动性对于各供应商批发价格的影响

图4为不同策略下 α 、 σ 对于供应商批发价的影响. 由图4(a)可见, 双源采购策略相比于单一供应商 S_1 与单一供应商 S_2 而言, 两个供应商给出的产品批发价均会略高, 这主要是由于竞争导致各方供应商所占的市场份额变少, 为保障自身利益, 二者均会采取提高批发价格这一措施. 同时, 随着供应商 S_1 中断概率的增大, 二者的批发价格均会增加, 最终可能出现供应商 S_1 和供应商 S_2 的批发价格均趋近于紧急采购的价格, 但是, 供应商 S_1 的批发价格永远不会高于供应商 S_2 的批发价格, 这主要是由于供应商 S_2 具有更高的可靠稳定性造成的. 图4(b)表示随着随机参照价格波动性 σ 的增大, 双源采购下两个供应商的批发价格和单一供应商 S_1 采购的批发价格均在上涨. 对于供应商 S_1 而言, 更大程度地参考价格波动性意味着有更大程度的风险, 这与其风险厌恶性质相违背, 因此, 会采取提高批发价格来对冲风险. 在双源采购时, 对于供应商 S_2 而言, 随机参照价格的波动性导致供应商 S_1 上涨了批发价格, 供应商 S_2 也会为了获取更大的利益而同步上涨价格, 出现两者批发价格均随着波动性 σ 的增大而提高.

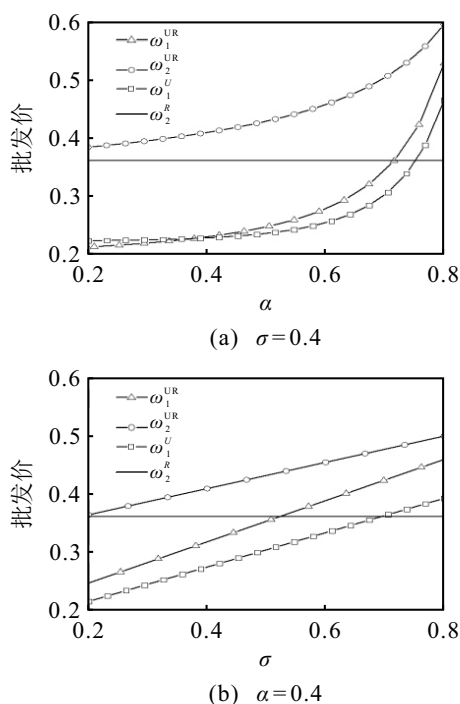


图4 不同策略下 α 、 σ 对于供应商批发价的影响

5.4 中断概率和参照价格波动性对于制造商定价的影响

图5为不同策略下 α 、 σ 对于制造商定价的影响. 由图5可见, 双源采购策略 (UR策略) 下制造商 M 对产品的定价随着供应商 S_1 中断概率的增大而增大, 同时, 也随着消费者对产品的随机参照价格波动性的增大而增大. 这表明制造商 M 在可能会面临由中断风险和消费者主观随机性等原因造成的利润损失时, 会采取提高产品的定价来进行风险对冲, 从而确保自身利润不受影响或减小亏损. 同时, 中断概率对于制造商定价影响的大小先大于随机参照价格波动性造成的影响, 然后低于其影响, 最后又远高于其影响. 这表明制造商 M 的定价的大小虽然均随着二者的增大而增大, 但是, 当同时受两种影响时, 主要影响和次要影响并不是确定的.

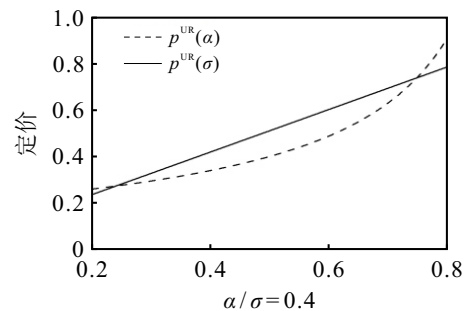


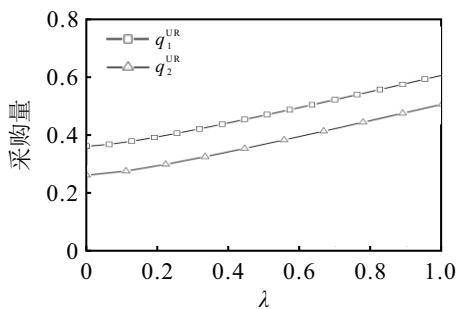
图5 不同策略下 α 、 σ 对于制造商定价的影响

前文分析中假定供应商 S_1 具有绝对风险厌恶性将其数值设定为1, 并未详细分析消费者参照价格敏感系数 λ 、价差 Δ 和绿色度 e 对于供应链各方决策的影响, 故本节将中断概率 α 和 σ 的取值设定为0.4, 在此基础上对 η 、 λ 、 Δ 、 e 共4个变量进行深入分析.

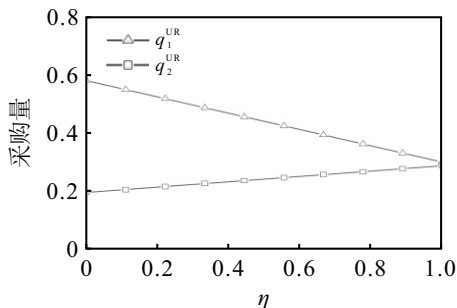
5.5 参照价格敏感系数和风险厌恶系数对于采购量的影响

图6为双源采购策略下 λ/η 对于采购量的影响. 基于图6(a)的实证分析, 在双源采购 (UR策略) 实施情境下, 消费者价格敏感系数的增大会引致制造商对两个供应商采购量的协同增长, 但是, 始终维持对供应商 S_1 的采购量显著高于供应商 S_2 的差异化模式. 其内在机理在于: 当消费者价格敏感性增强时, 上游供应商为扩大市场份额会主动降低批发价格以提升竞争力, 而制造商则通过适度下调终端售价刺激需求 (薄利多销), 在这一动态博弈中, 由于供应商 S_1 基准条件下通常具备更优的成本结构或初始价格优势, 其降价空间更大且更具可持续性, 从而持续保持采购优先级, 形成“双采购量同向增长 + 供应商 S_1 主导”的格局. 而图6(b)则揭示, 随着供应商 S_1 风险厌恶系数的增大, 制造商对其采购量显著下降, 对

供应商 S_2 的采购量相应增加. 这一调整的核心逻辑如下: 风险厌恶水平提升促使供应商 S_1 通过提高批发价格补偿潜在风险损失, 削弱了其原有的价格竞争优势; 制造商为优化供应链风险结构、降低经营不确定性, 选择减少对于高风险 S_1 的依赖, 转而增加对更稳定的供应商 S_2 的采购份额, 从而在保障供应连续性的同时实现风险成本的有效控制.



(a) $\eta=1$



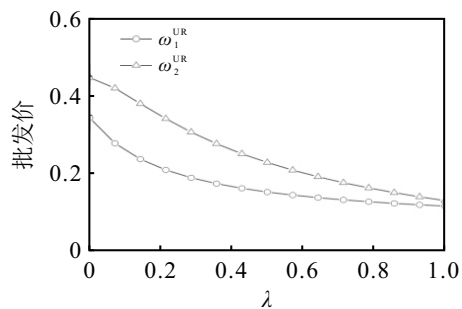
(b) $\lambda=0.6$

图6 双源采购策略下 λ/η 对于采购量的影响

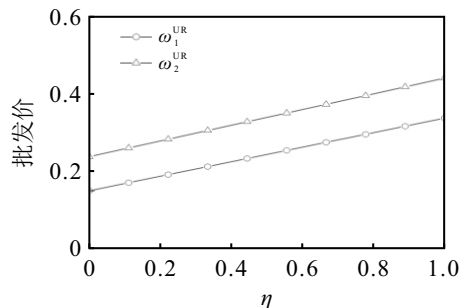
5.6 参照价格敏感系数和风险厌恶系数对于批发价的影响

图7为双源采购策略下 λ/η 对于批发价的影响. 基于图7(a)的实证分析, 在双源采购 (UR策略) 情境下, 消费者价格敏感系数增大会引致两个供应商同步下调批发价格, 但是, 始终维持供应商 S_1 的批发价格低于供应商 S_2 的价格梯度. 其内在机理在于: 当消费者价格敏感性增强时, 供应商为扩大市场份额、提升竞争力, 普遍通过降低单位批发价格 (牺牲短期单位利润) 来换取更多制造商采购量, 以实现“薄利多销”的利润最大化目标; 由于供应商 S_1 在基准条件下通常具有更低的单位利润空间, 其价格调整后的批发价格仍然能够保持相对优势. 图7(b)则揭示了供应商风险厌恶水平对批发定价的传导效应: 随着供应商 S_1 风险厌恶系数增大, 两个供应商均会采取批发价格上调策略. 其核心逻辑在于: 供应商 S_1 对于市场风险的敏感度提升后, 为补偿潜在风险损失并确保利润稳定性, 倾向于通过提高单位批发价格来转移风险成本 (即使可能会引发制造商短期采购量下降, 仍然优先选择风险规避导向的定价决策);

而供应商 S_2 的定价行为表现出显著跟随特征——观测到供应商 S_1 提价后, 供应商 S_2 为维持相对利润水平, 亦同步上调批发价格以获取更高收益. 这一现象揭示了双源采购供应链中风险偏好异质性对供应商定价协同行为的传导机制, 尤其体现了风险厌恶主导型供应商 (如供应商 S_1) 的定价策略对供应链整体价格体系的溢出效应.



(a) $\eta=1$



(b) $\lambda=0.6$

图7 双源采购策略下 λ/η 对于批发价的影响

5.7 参照价格敏感系数和风险厌恶系数对于利润的影响

图8为双源采购策略下 λ/η 对于利润的影响. 基于图8的实证分析, 在双源采购 (UR策略) 框架下, 制造商利润水平与消费者价格敏感系数、供应商风险厌恶系数均呈显著正相关关系, 其利润增长可通过双维度机制阐释:

1) 当消费者价格敏感系数上升时, 供应链通过供需协同的“薄利多销”策略来实现利润提升——供应商主动降低批发价格以扩大制造商采购量, 制造商同步下调终端售价以吸引更多价格敏感型消费者, 需求扩张带来的销量增长抵消了单位利润收窄的损失, 形成规模经济效应驱动的利润增长.

2) 供应商风险厌恶系数增强时, 供应链通过差异化策略调整来实现利润优化——供应商通过提高批发价格来转移风险成本, 制造商则采取“双向调节”: 一方面提价转嫁部分成本增量, 另一方面适度降低采购量以优化库存管理和风险敞口. 尽管提价可能会导致部分价格敏感型消费者流失, 但是, 定价提升的边际利润增长超过销量损失, 叠加采购量调

整带来的库存成本节约和风险控制收益, 最终推动制造商整体利润水平提升.

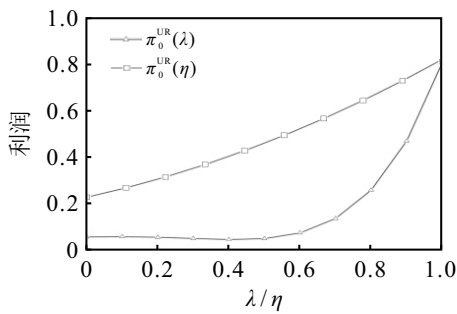


图8 双源采购策略下 λ/η 对于利润的影响

5.8 价差和绿色水平对于利润的影响

图9为双源采购策略下 Δ/e 对于利润的影响. 基于图9(a), 双源采购下制造商利润与供应商价格差异呈正相关: 当供应商间价差扩大时, 供应商 S_1 因价格优势获得更多采购份额(制造商增加供应商 S_1 、减少供应商 S_2 采购), 直接降低采购成本并为定价提供空间, 通过适度提价来实现边际利润增厚, 形成“成本节约+溢价收益”双重驱动. 由图9(b)可见, 产品绿色度提升与制造商利润正向关联: 尽管绿色度提高可能会推升供应商批发价, 但是, 其激发的市场需求扩张(绿色属性增强吸引力、扩大消费群体、刺激销量)与定价弹性(消化部分绿色成本的同时合理提价)通过“需求拉动+定价赋能”协同作用, 推动利润正向增长.

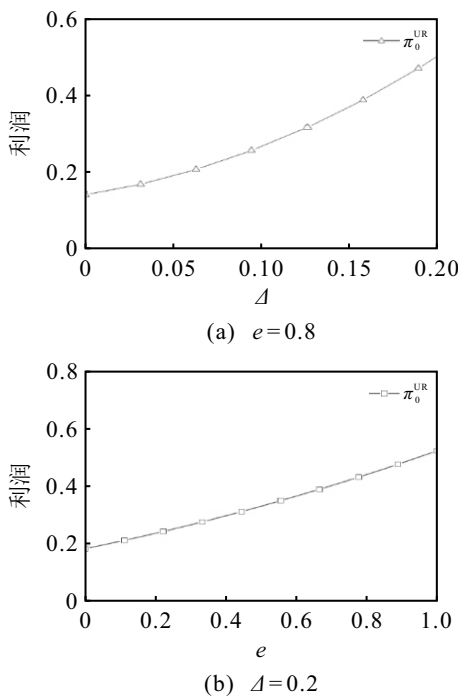


图9 双源采购策略下 Δ/e 对于利润的影响

5.9 价差和绿色水平对于采购量的影响

图10为双源采购策略下 Δ/e 对于采购量的影

响. 基于图10(a)的实证结果, 双源采购策略实施中, 供应商间价格差异的扩大对制造商采购决策产生显著影响: 随着供应商 S_1 与供应商 S_2 价格梯度的增大, 制造商对低成本供应商 S_1 的采购量显著上升, 对高成本供应商 S_2 的采购量相应减少. 这一调整反映了制造商基于成本优化的战略选择——当价格差异更显著时, 供应商 S_1 的价格竞争优势对于制造商的吸引力进一步增强, 为追求采购总成本极小化, 制造商倾向于增加供应商 S_1 采购份额(即便可能适度提升供应中断风险), 同时减少供应商 S_2 采购规模. 值得注意的是, 这种采购组合的偏向性调整呈现边际强化特征, 即价差持续扩大时, 供应商 S_1 的采购倾斜程度愈发显著. 图10(b)则显示, 产品绿色度的提升对制造商向两个供应商的采购量均具有正向促进作用. 其内在机制在于绿色属性引发的市场需求扩张效应: 当产品环境友好特性增强时, 既提升了现有消费群体的购买意愿, 又激发了潜在消费者需求, 绿色溢价带来的市场需求增长促使制造商通过增加两个供应商采购量来匹配整体需求扩张. 这一现象揭示了绿色转型背景下, 制造商在维持供应链多元化的同时, 通过扩大整体采购规模响应绿色产品市场需求的战略调整逻辑.

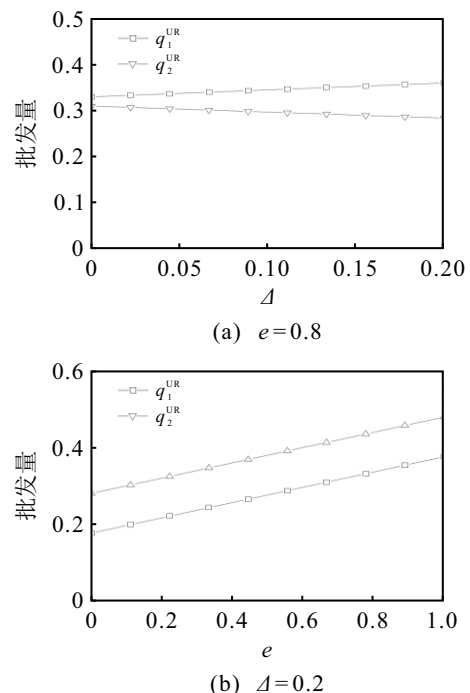


图10 双源采购策略下 Δ/e 对于采购量的影响

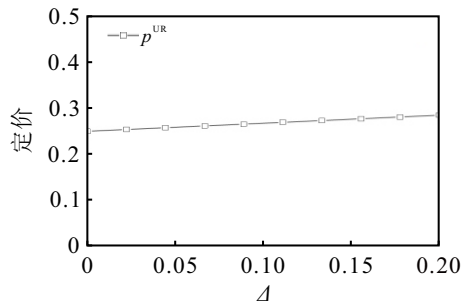
5.10 价差和绿色水平对于定价的影响

图11为双源采购策略下 Δ/e 对于定价的影响. 基于图11(a)的实证分析, 双源采购策略实施中, 供应商间价格差异的扩大对于制造商产品定价具有显著正向影响: 当供应商 S_1 与供应商 S_2 批发价梯度增大时, 制造商虽然可通过增加供应商 S_1 采购、减少供

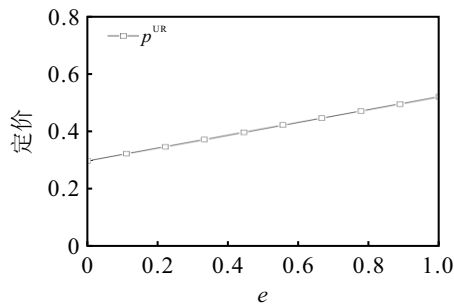
应商 S_2 采购来降低采购成本,但是,需要权衡供应商 S_1 过度依赖引发的供应中断风险,故维持一定比例供应商 S_2 采购;为平衡成本控制与供应稳定性,制造商通过提高终端产品定价来转移部分成本压力,且定价上调幅度与供应商间价差呈正相关.由图11(b)可见,产品绿色度提升显著推动了制造商产品定价上涨,机制体现在两方面:

1) 供应商绿色技术投入增加导致批发价上涨,成本沿供应链向上传导;

2) 尽管绿色度能够提升刺激市场需求,但是批发价上涨推高了采购总成本,制造商通过提高终端定价来抵消成本增量,保障利润目标.



(a) $e=0.8$



(b) $\Delta=0.2$

图11 双源采购策略下 Δ/e 对于定价的影响

6 结论

本文考虑了一个包含两个互相竞争的供应商、一个下游制造商和一个紧急供应商所组成的二级供应链,研究供应商 S_1 具有中断风险的同时消费者购买产品时也具有随机参照价格这一性质的制造商产品定价和渠道选择问题,得出的主要结论如下:

1) 当供应商 S_1 中断概率较小时,制造商 M 选择单一供应商 S_1 采购策略将获得更大的利润,随着中断概率的增大,单一供应商 S_2 采购策略成为制造商的最优选择策略,当中断概率达到某一阈值时,双源采购策略是制造商更好的选择.

2) 随机参照价格的波动性和中断概率对于制造商采购决策、供应商批发价、产品定价以及绿色度具有显著影响.当参照价格波动性增强时,双源采购策略能够提升制造商利润,而单一供应商 S_1 下的利润则呈现先降后升的趋势——这一现象源于制造商

定价与供应商批发价间的动态博弈,二者调整速率差异导致价差(利润空间)先收缩后扩张.

3) 随机参照价格的波动性和供应商 S_1 的中断概率均会对制造商 M 的定价决策造成显著的影响,但是,两者的影响程度大小并不是确定的.

4) 企业可将产品绿色度提升作为重要的市场策略工具——通过主动优化生产流程、采用环保材料或技术升级等手段来提高产品绿色属性,能够显著增强产品的市场吸引力,有效扩大目标消费群体的覆盖范围,进而驱动整体销量增长.

5) 企业应主动构建“供应-制造”协同的“成本-价格”双向调节机制,以实现市场扩张与利润优化的平衡——供应端鼓励供应商主动让利(如适度降低产品批发价格),激励制造商增加采购量;制造端则通过战略性下调终端产品定价,精准触达价格敏感型消费群体,进而激活市场需求扩张.

6) 企业采购决策应动态关注供应商间的价格竞争格局——当供应商间价格差异显著扩大时,价格优势将成为采购决策的关键驱动因素,同时,需要精准把握价格差异的“临界阈值”,通过阶段性调整采购权重,实现成本优势最大化与供应风险可控性的平衡.

参考文献 (References)

- [1] 邓汝春, 郭孔快. 基于精益供应链的制造执行系统MES的研究[J]. 工业工程与管理, 2012, 17(4): 114-120.
(Deng R C, Guo K K. The study of manufacturing execution system (MES) based on lean supply chains[J]. Industrial Engineering and Management, 2012, 17(4): 114-120.)
- [2] 牟进进, 王淑云. 跨境电商供应链物流增值服务的优化决策[J]. 中国管理科学, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0715.
(Mou J J, Wang S Y. Optimization of logistics value-added service for cross-border e-commerce supply chain[J]. Chinese Journal of Management Science, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0715.)
- [3] 刘丽, 韩同银, 金浩. 成本分担机制下考虑品牌商誉的三级绿色供应链微分博弈[J]. 控制与决策, 2024, 39(2): 659-668.
(Liu L, Han T Y, Jin H. Differential game of three-level green supply chain considering brand goodwill under cost sharing mechanism[J]. Control and Decision, 2024, 39(2): 659-668.)
- [4] Han B, Zhang Y, Wang S, et al. The efficient and stable planning for interrupted supply chain with dual-sourcing strategy: A robust optimization approach considering decision maker's risk attitude[J]. Omega, 2023, 115: 102775.
- [5] Lai X F, Wang X, Chen Z X. A system dynamics simulation on international dual-source procurement

- strategy under the influence of tariff and supplier reliability[J]. *IFAC-PapersOnLine*, 2022, 55(10): 3022-3027.
- [6] 牛保庄, 许浩涛, 李启洋, 等. 考虑供应中断的关键进口零部件本土替代及采购策略调整[J]. *系统工程理论与实践*, 2022, 42(11): 2881-2890.
(Niu B Z, Xu H T, Li Q Y, et al. Local substitution of key imported components considering supply disruptions and adjustment of procurement strategies[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2022, 42(11): 2881-2890.)
- [7] 徐鸿雁, 黄河, 曾能民. 存在信息更新时的双源采购和后备生产结合策略研究[J]. *中国管理科学*, 2018, 26(2): 33-45.
(Xu H Y, Huang H, Zeng N M. The combination of dual sourcing and backup production with updated information[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2018, 26(2): 33-45.)
- [8] 董霜霜, 李羚子, 夏唐斌, 等. 考虑供应中断和损失规避的多供应商采购决策研究[J]. *工业工程与管理*, 2024, 29(3): 12-21.
(Dong S S, Li L Z, Xia T B, et al. Multi-supplier sourcing decisions considering supply disruption and loss aversion[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2024, 29(3): 12-21.)
- [9] 汪平, 张丽君, 孙鲁平. 参照依赖的消费者选择及其建模方法回顾与展望[J]. *中国管理科学*, 2022, 30(4): 119-131.
(Wang P, Zhang L J, Sun L P. Reference-dependent consumer choices and the modeling methods: A review and future directions[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2022, 30(4): 119-131.)
- [10] 刘海英, 毕文杰. 考虑消费者参照效应与策略行为的多产品动态定价[J]. *中国管理科学*, 2022, 30(1): 136-142.
(Liu H Y, Bi W J. Optimal dynamic pricing for multi-products with consumers' reference effects and strategic behavior[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2022, 30(1): 136-142.)
- [11] Köszegi B, Rabin M. A model of reference-dependent preferences[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2006, 121(4): 1133-1165.
- [12] Wenner L M. Expected prices as reference points — Theory and experiments[J]. *European Economic Review*, 2015, 75: 60-79.
- [13] Sorger G. Reference price formation and optimal marketing strategies[J]. *Optimal Control Theory and Economic Analysis*, 1988, 3(3): 97-120.
- [14] 孙立成, 郭晓亮. 考虑低碳参考效应的供应链产品双渠道宣传决策与协调[J]. *控制与决策*, 2024, 39(9): 3160-3168.
(Sun L C, Guo X L. Decision making and coordination of supply chain product dual channel publicity considering low-carbon reference effect[J]. *Control and Decision*, 2024, 39(9): 3160-3168.)
- [15] 王道平, 周玉, 葛根哈斯. 考虑参照价格效应和消费者行为的预售及退货策略[J]. *控制与决策*, 2021, 36(11): 2783-2793.
(Wang D P, Zhou Y, Ge G H S. Advance selling strategy and return strategy considering reference price effect and consumers behaviors[J]. *Control and Decision*, 2021, 36(11): 2783-2793.)
- [16] 吴光辉, 张志雄, 王兆兵, 等. 航空制造业绿色低碳化发展研究[J]. *中国工程科学*, 2023, 25(5): 157-164.
(Wu G H, Zhang Z X, Wang Z B, et al. Green and low-carbon development of aviation manufacturing industry[J]. *Engineering Sciences in China*, 2023, 25(5): 157-164.)
- [17] 林志炳, 吴清. 基于随机参照价格的BODS全渠道绿色供应链定价和渠道策略研究[J]. *中国管理科学*, 2024, 32(2): 65-74.
(Lin Z B, Wu Q. Research on pricing and channel strategy of BODS omni-channel green supply chain with stochastic reference price[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2024, 32(2): 65-74.)
- [18] 林志炳, 陈莫凡. 考虑制造商建议零售价格和零售商企业社会责任的绿色供应链决策[J]. *控制与决策*, 2022, 37(9): 2369-2379.
(Lin Z B, Chen M F. Green supply chain decisions based on manufacturer's suggested retail prices and retail's corporate social responsibility[J]. *Control and Decision*, 2022, 37(9): 2369-2379.)
- [19] 杨建华, 刘淞. 考虑消费者参考效应的双渠道乳制品供应链协调机制设计[J]. *控制与决策*, 2022, 37(6): 1609-1620.
(Yang J H, Liu S. Coordination mechanism of dual channel supply chain in dairy products considering consumers' reference effect[J]. *Control and Decision*, 2022, 37(6): 1609-1620.)
- [20] 张涑贤, 王梓豪, 王文隆. 考虑风险容忍度的双渠道绿色供应链运营决策及协调研究[J]. *控制与决策*, 2024, 39(6): 2106-2112.
(Zhang S X, Wang Z H, Wang W L. Operation decisions and coordination contract in a dual-channel green supply chain with risk tolerance[J]. *Control and Decision*, 2024, 39(6): 2106-2112.)
- [21] 王欢, 方志耕, 邓飞, 等. 考虑质量价值水平的复杂产品供应链质量成本优化方法[J]. *控制与决策*, 2019, 34(9): 1973-1980.
(Wang H, Fang Z G, Deng F, et al. Quality cost optimization method for complex product supply chain considering quality value level[J]. *Control and Decision*, 2019, 34(9): 1973-1980.)

作者简介

储开伟 (2000–), 男, 硕士生, 主要研究方向为供应链管理, E-mail: 1487496546@qq.com;

朱建军 (1976–), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为供应链管理, 应急管理决策, 智能决策与风险分析 E-mail: zhujianjun@nuaa.edu.cn.