

供应中断风险下制造商应对策略研究

孔 进, 李 芳

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 为分析制造商对于供应中断的应对策略, 对 2 个制造商、2 个供应商组成的时间敏感性供应链进行研究, 其中供应商 A 存在中断风险, 制造商 1 可以选择是否对供应商 A 进行援助, 制造商 2 既可以选择采用备用供应商 B, 也可以选择供应商 A 并选择是否采取援助, 在此基础上建立了 6 个制造商 1 和制造商 2 策略组合的决策模型, 采用博弈论分析法求得各均衡解, 并进行数值算例分析, 结果表明: 2 个制造商对于供应中断应对策略的最优选择受彼此影响, 同时 2 个制造商中某一方或两方同时采取援助措施时, 仅援助力度大于阈值时才能有效帮助供应中断恢复, 当 2 个制造商均选择援助策略时, 供应中断恢复时间最短。

关键词: 供应中断; 采购策略; 制造商; 期望利润方程

中图分类号: F 274 **文献标志码:** A

Manufacturer's coping strategies under supply interruption risk

KONG Jin, LI Fang

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to study the manufacturer's coping strategy to supply interruption, the time-sensitive supply chain composed of two manufacturers and two suppliers was studied. Among them, supplier A had the risk of interruption, and manufacturer 1 could choose whether to assist supplier A, and manufacturer 2 can choose to adopt alternate supplier B and selected supplier A and chose whether to take assistance. On this basis, the decision-making model of the strategy combination of 6 manufacturer 1 and 2 was established. The balanced solution is obtained by the game theory analysis and numerical study analysis is performed. The results show that the optimal coping strategy for the supply interruption of two manufacturers is affected by each other. While one or both of the two manufacturers take assistance measures at the same time, only when the aid strength is greater than the threshold, supply interruption can be effectively recovered. When both manufacturers choose the aid strategy, the recovery time for supply interruption is the shortest.

Keywords: supply interruption; purchase strategy; manufacturer; expected profit equation

收稿日期: 2020-10-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (71840003); 上海市软科学研究重点项目 (19692104000)

第一作者: 孔 进 (1997-), 男, 硕士研究生. 研究方向: 供应链管理、云制造. E-mail: kj714955212@163.com

通信作者: 李 芳 (1966-), 女, 副教授. 研究方向: 供应链管理、云制造. E-mail: lifang2502@126.com

在经济全球化的进程中，供应商的选择越来越多元化，供应链成员之间的关系网络也日益复杂，此时供应链整体网络容易受到各种不可控因素的影响。例如，新冠疫情使得诸多外贸行业的供应链发生中断，疫情严重时期本土的供应链也难以幸免，供应链风险管理变得愈加重要，当供应链发生中断时，企业需要快速作出决策以应对供应链中断带来的损失。

有关时间敏感性供应链的研究中，Ivanov等^[1]以澳大利亚乳制品为例来研究供应中断产生的连锁反应对时间敏感性供应链的影响。Palaka等^[2]对时间敏感性供应链进行了研究，得到了产品价格和实际交货期的优化决策模型。Zhang等^[3]对时间敏感性供应链中产品的定价策略进行研究，提出了分类定价策略。李焕之^[4]对云环境下的供应链资源共享进行了博弈分析，建立了云环境下时间敏感性资源的中断恢复策略的博弈模型，通过模型分析发现，制造商合适的援助策略能够缩短供应恢复时间。张雪梅等^[5]考虑市场需求量具有网络渠道交付时间敏感性，并在此基础上研究单渠道和双渠道的定价策略问题。谢祥添等^[6]考虑市场需求量具有承诺交货时间敏感性和随机性，并以此建立了M/M/1决策模型。朱玉炜等^[7]分析了网络直销渠道和传统渠道的定价策略与时间敏感系数的关系。有关供应中断应对策略的研究中，Iyer等^[8]建立了恢复成本取决于产能恢复速度的模型，以此研究单供货方-多需求方的供应中断恢复问题。Kumar等^[9]在供应中断背景下，分析了零售商不同采购策略对供应链的影响。Li等^[10]对制造商存在后备供应商的情况进行研究，分析不同程度的供应中断风险下，制造商是否以及如何使用双源采购策略。Berger等^[11]运用决策树模型对供应中断风险下制造商的采购策略进行研究，研究发现，当中断风险较低时，双源供应模式相比单源供应模式更优。Burke等^[12]比较了供应不可靠条件下的单源采购与多源采购策略。Gupta等^[13]采用博弈分析的方法，对2个供应商和1个零售商在供应商出现供应中断情况下的模型进行分析，具体分析了替代产品定价决策的变化。徐蓉^[14]建立国外主供应商、国内备用供应商的双源供应模型，并在其中引入良品率这一概念，研究国外供应商的供应中断对供应链各节点产生的影响。王静等^[15]验证了供应中断下保留冗余产能、储备库存及启用备选制造商等应对方案的可行性。李

姗姗等^[16]考虑发生供应中断时，市场应对中断可能采取以下几种措施：自动留存订单、等待制造商应急完成订单、安全库存完成订单、取消订单，在此情况下构建了中断负面影响最小的最优控制模型。张广胜等^[17]基于期权理论，考虑单源主供应商、应急双源采购及单源备用供应商3种策略。何青等^[18]考虑供应链存在供应中断风险，在此基础上对制造商的后备采购策略和改善努力策略进行了比较分析。颜荣芳等^[19]分析由1个制造商和1个零售商组成的双渠道供应链中，在需求中断下具有提前期的双渠道供应链的风险规避问题。何璐等^[20]在碳税背景下考虑供应中断对制造/再制造企业最优策略的影响，结果表明，平均总成本随中断概率的增加而变大。李新军等^[21]对由制造商、战略供应商、备用供应商组成的供应链进行研究，得出使用备用供应商的临界值。陈崇萍等^[22]分析了在需求与供应不确定下的双源供应，考虑供应商产出随机或供应商存在中断且产出随机的情况，建立制造商和供应商的博弈模型。

以上有关时间敏感性供应链的研究多集中于定价决策，较少分析时间敏感性供应链的供应中断问题，有关供应中断方面的研究主要集中在价格敏感性供应链中(市场需求受价格影响)，对时间敏感性供应链研究较少。李焕之^[4]进行了时间敏感性供应链(市场需求受价格和时间影响)的供应中断恢复研究，但研究是针对单供应商、单制造商的供应链中断恢复。本文在上述已有研究的基础上^[1-2, 4, 8]，对2个制造商和2个供应商的时间敏感性供应链进行研究，研究发生供应中断时，制造商1和制造商2采取何种策略更优。

1 模型与基本假设

三级供应链系统如图1所示，其中，制造商1采用供应商A单源供应，制造商2采用双源供应(无中断风险时采用供应商A供应，中断发生时可能启用备用供应商B)，考虑主供应商A以一定概率由于紧急事件而发生供应中断，研究此时制造商1和制造商2应对供应中断而采取的最优策略。

基于上述模型，假设：

a. 制造商、供应商、备用供应商均处于云环境之中，制造商1、制造商2、供应商A、供应商B信息共享。

b. 考虑制造商1和制造商2均为供应商A的

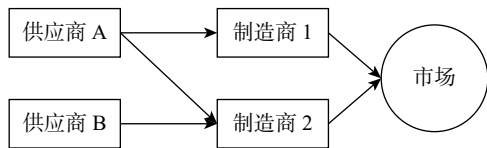


图1 结构示意图

Fig. 1 Structure diagram

重要客户,因此,供应商 A 会在完成所有订单后同一时间将货物发送给制造商 1 和制造商 2。

c. 制造商生产的产品具有时间敏感性,即市场需求量同时受产品价格和制造商交货时间影响。制造商 1 和制造商 2 的需求量分别为 $D_1(p_1, T) = \alpha_1 - \mu p_1 - \beta T$, $D_2(p_2, T) = \alpha_2 - \mu p_2 - \beta T$, $\mu > 0, \beta > 0$ 。其中, μ 为价格敏感系数, β 为时间敏感系数, p_1 为制造商 1 零售价格, p_2 为制造商 2 零售价格^[23], T 为产品实际进入市场的时间, α_1, α_2 分别为制造商 1、制造商 2 的潜在市场需求量。

d. 本文仅考虑制造商的采购成本,不考虑生产运营成本。

e. 供应商 A 具有产品价格低、可靠性低的特点,供应商 B 具有产品价格高、完全可靠的特点。

f. 供应商 A 发生中断时,实际交货时间延迟造成的损失由供应商 A 承担。

g. 供应商 A 与制造商 1 和制造商 2 存在长期合作关系,当发生供应中断时供应商 A 会主动采取措施恢复产能。

h. 考虑制造商 2 采用备用供应商 B 时,供应商 B 的交货时间与供应正常情况下供应商 A 的约定交货时间相同。

参数设置:

ρ 表示主供应商 A 的供应中断的概率, $0 < \rho < 1$;

r 表示商品的残值, $r < w_1 < w_2$;

c_1 表示供应商 A 的生产成本;

c_2 表示供应商 B 的生产成本;

w_1 表示制造商向供应商 A 购买产品的批发价格;

w_2 表示制造商向供应商 B 购买产品的批发价格;

$c(t)$ 表示供应商 A 在无援助情况下付出的供应链恢复成本, $c(t) = t^2 - 2Ht + F$, H 为供应商 A 允许的最长交货时间, F 为供应商 A 可能付出的最大成本^[23];

t 表示供应商 A 实际交货时间;

t_0 表示供应中断发生时间;

t_1 表示正常情况下供应商 A 与制造商 1、制造商 2 约定的交货时间;

t_2 表示制造商 1 和制造商 2 生产时间,本文不考虑

制造商 1 和制造商 2 生产时间差异;

$\pi_s^{ij} (i = M, N; j = O, M, N)$ 表示制造商 1 和制造商 2 不同策略下, 供应商 A 的期望收益;

$\pi_{m1}^{ij} (i = M, N; j = O, M, N)$ 表示 3 种策略下, 主要供应商 A 的期望收益;

$\pi_{m2}^{ij} (i = M, N; j = O, M, N)$ 表示 3 种策略下, 备用供应商 B 的期望收益;

其中, $i=M$ 表示制造商 1 采用供应商 A 供货但不采取援助措施, $i=N$ 表示制造商 1 采用供应商 A 供货并采取援助措施, $j=O$ 表示制造商 2 采用备用供应商供货, $j=M$ 表示制造商 2 采用供应商 A 供货但不采取援助措施, $j=N$ 表示制造商 2 采用供应商 A 供货并采取援助措施。

2 模型的建立与求解

发生突发事件时, 供应商 A 产能陷入瘫痪, 供应链发生中断。云环境下, 供应商 A 将中断实际情况告知制造商 1 和制造商 2 并承诺会尽可能早地恢复生产, 并征求制造商 1 和制造商 2 的意见。参考李焕之^[4]关于供应链中断时制造商与供应商策略的分析, 同时结合本文模型, 考虑当供应商 A 发生供应中断时, 制造商 1 可以采取 2 种策略: a. 采用供应商 A 供货但不援助供应商 A; b. 采用供应商 A 供货并援助供应商 A。制造商 2 可以采取 3 种策略: a. 采用备用供应商 B 供货; b. 采用供应商 A 供货但不援助供应商 A; c. 采用供应商 A 供货并且援助供应商 A。

2.1 制造商 1 采用供应商 A 供货但不采取援助措施且制造商 2 采用备用供应商 B 供货情形(策略 1)

制造商 1 表示愿意继续采用供应商 A 供货但不会采取援助措施, 制造商 2 表示将放弃供应商 A 并采用备用供应商 B 供应, 制造商 1 和制造商 2 的各节点时间如图 2 所示。 $T_1 = t_1 + t_2$; $T_2 = t + t_2$ 。

T_1 表示无供应中断情形下产品投入市场的时间, T_2 表示策略 1 中制造商 1 生产产品实际投入市场的时间。

考虑制造商 1、制造商 2、供应商 A 之间势均力敌, 此时供应商 A、制造商 1、制造商 2 的期望利润函数:

$$\pi_s^{MO} = (1 - \rho) \{ (w_1 - c_1) [D_1(p_1, T_1) + D_2(p_2, T_1)] + \rho \{ (w_1 - c_1) D_1(p_1, T_2) + (r - c_1) [D_1(p_1, T_1) - D_1(p_1, T_2)] - c(t) \} \} \quad (1)$$

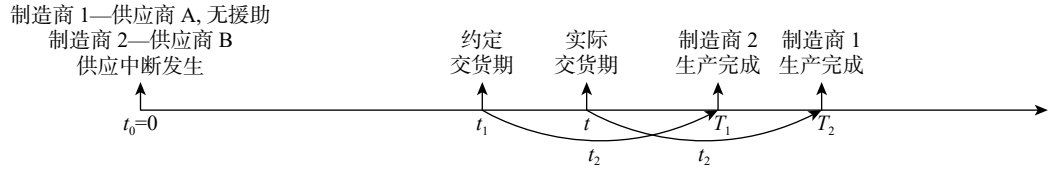


图2 时间节点示意图1
Fig.2 Schematic 1 for time node

$$\pi_{m1}^{MO} = (1-\rho)[(p_1-w_1)D_1(p_1, T_1)] + \rho[(p_1-w_1)D_1(p_1, T_2)] \quad (2)$$

$$\pi_{m2}^{MO} = (1-\rho)[(p_2-w_1)D_2(p_2, T_1)] + \rho[(p_2-w_2)D_2(p_2, T_1)] \quad (3)$$

命题1 存在纳什均衡解 $(t^{MO*}, p_1^{MO*}, p_2^{MO*})$, 使得供应商A、制造商1、制造商2各自收益最大。

证明

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \pi_s^{MO}}{\partial t} = \rho(2H - 2t + r\beta - \beta w_1) \\ \frac{\partial \pi_{m1}^{MO}}{\partial p_1} = -t\beta\rho - 2\mu p_1 + \beta(-1 + \rho)t_1 - \beta t_2 + \mu w_1 + \alpha_1 \\ \frac{\partial \pi_{m2}^{MO}}{\partial p_2} = -2\mu p_2 - \beta t_1 - \beta t_2 + \mu w_1 - \mu\rho w_1 + \mu\rho w_2 + \alpha_2 \end{array} \right. ; \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 \pi_s^{MO}}{\partial t^2} = -2\rho < 0 \\ \frac{\partial^2 \pi_{m1}^{MO}}{\partial p_1^2} = -2\mu < 0 \\ \frac{\partial^2 \pi_{m2}^{MO}}{\partial p_2^2} = -2\mu < 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

由式(4)可知, 存在 t^* (在无援助策略时, $t^{MO*}=t^*$)使得供应商A的期望利润最大, 存在 p_1^{MO*} 使得制造商1的期望利润最大, 存在 p_2^{MO*} 使得制造商2的期望利润最大。

$$\frac{\partial \pi_s^{MO}}{\partial t} = 0; \frac{\partial \pi_{m1}^{MO}}{\partial p_1} = 0; \frac{\partial \pi_{m2}^{MO}}{\partial p_2} = 0$$

同时将 t^{MO*} 代入 p_1^{MO*} , p_2^{MO*} , 可得

$$\left\{ \begin{array}{l} t^{MO*} = \frac{r\beta - \beta w_1}{2} + H \\ p_1^{MO*} = \frac{\beta(-1 + \rho)t_1 - \beta t_2 + \mu w_1 - \frac{1}{2}\beta\rho(2H + r\beta - \beta w_1) + \alpha_1}{2\mu} \\ p_2^{MO*} = \frac{-\beta t_1 - \beta t_2 + \mu w_1 - \mu\rho w_1 + \mu\rho w_2 + \alpha_2}{2\mu} \end{array} \right. \quad (5)$$

2.2 制造商1采用供应商A供货但不采取援助措施且制造商2采用供应商A供货但不采取援助措施情形(策略2)

制造商1表示愿意继续采用供应商A供货但不会采取援助措施, 制造商2表示愿意继续采用供应商A供货但也不会采取援助措施, 制造商1和制造商2的各节点时间如图3所示。 $T_2 = t + t_2$ 。

考虑制造商1、制造商2、供应商A之间势均力敌, 供应商A、制造商1、制造商2的期望利润函数:

$$\pi_s^{MM} = (1-\rho)\{(w_1-c_1)[D_1(p_1, T_1)+D_2(p_2, T_1)] + \rho\{(w_1-c_1)[D_1(p_1, T_2)+D_2(p_2, T_2)] + (r-c_1)[D_1(p_1, T_1)+D_2(p_2, T_1)-D_1(p_1, T_2)-D_2(p_2, T_2)]-c(t)\} \quad (6)$$

$$\pi_{m1}^{MM} = (1-\rho)[(p_1-w_1)D_1(p_1, T_1)] + \rho[(p_1-w_1)D_1(p_1, T_2)] \quad (7)$$

$$\pi_{m2}^{MM} = (1-\rho)[(p_2-w_1)D_2(p_2, T_1)] + \rho[(p_2-w_1)D_2(p_2, T_2)] \quad (8)$$

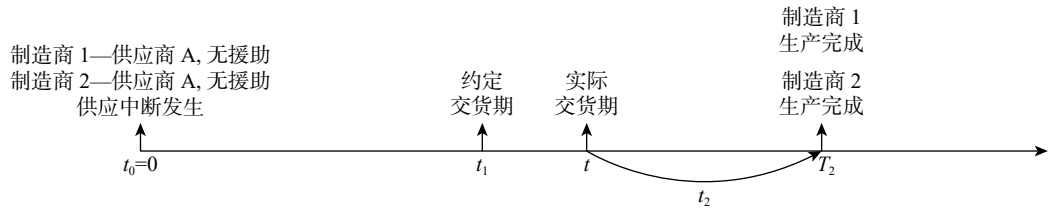


图3 时间节点示意图2
Fig.3 Schematic 2 for time node

命题 2 存在纳什均衡解 $(t^{MM*}, p_1^{MM*}, p_2^{MM*})$, 使得供应商 A、制造商 1、制造商 2 各自收益最大。

证明方法如命题 1 所示, 本文不在作详细证明, 可得

$$\begin{cases} t^{MM*} = H + r\beta - \beta w_1 \\ p_1^{MM*} = \frac{\beta(-1+\rho)t_1 - \beta t_2 + \mu w_1 - \beta\rho(2H + r\beta - \beta w_1) + \alpha_1}{2\mu} \\ p_2^{MM*} = \frac{\beta(-1+\rho)t_1 - \beta t_2 + \mu w_1 - \beta\rho(2H + r\beta - \beta w_1) + \alpha_2}{2\mu} \end{cases} \quad (9)$$

2.3 制造商 1 采用供应商 A 供货但不采取援助措施且制造商 2 采用供应商 A 供货并采取援助措施情形(策略 3)

制造商 1 表示愿意继续采用供应商 A 供货但不会采取援助措施, 制造商 2 表示愿意继续采用供应商 A 供货并承诺援助总资金 G 来帮助供应商

A 能尽早完成生产, 假设 δ 为获得援助后主供应商 A 的生产产能恢复系数, 即此时主供应商 A 的实际交货期变为 $t^{MM} = (1-\delta)t$, 制造商的实际交货期变为 $T_3 = t^{MM} + t_2$, $\delta'(G) > 0$, 设 $\delta(G) = \frac{G}{3(G+1)}$, 当制造商援助资金为 0 时, $\delta=0$, 最大调整系数为 $1/3^{[4]}$, 制造商 1 和制造商 2 的各节点时间如图 4 所示。

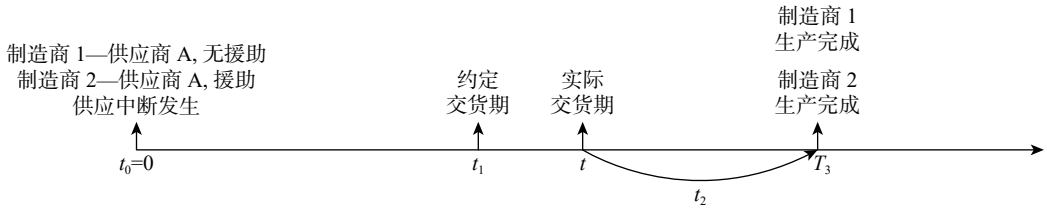


图 4 时间节点示意图 3

Fig.4 Schematic 3 for time node

考虑制造商 1、制造商 2、供应商 A 之间势均力敌, 供应商 A、制造商 1、制造商 2 的期望利润函数:

$$\pi_s^{MN} = (1-\rho)\{(w_1 - c_1)[D_1(p_1, T_1) + D_2(p_2, T_1)] + \rho\{(w_1 - c_1)[D_1(p_1, T_3) + D_2(p_2, T_3)] + (r - c_1)[D_1(p_1, T_1) + D_2(p_2, T_1) - D_1(p_1, T_3) - D_2(p_2, T_3)] - c(t)\} \quad (10)$$

$$\pi_{m1}^{MM} = (1-\rho)[(p_1 - w_1)D_1(p_1, T_1)] + \rho[(p_1 - w_1)D_1(p_1, T_3)] \quad (11)$$

$$\pi_{m2}^{MM} = (1-\rho)[(p_2 - w_1)D_2(p_2, T_1)] + \rho[(p_2 - w_1)D_2(p_2, T_2) - G] \quad (12)$$

命题 3 存在纳什均衡解 $(t^{MN*}, p_1^{MN*}, p_2^{MN*})$, 使得供应商 A、制造商 1、制造商 2 各自收益最大。

证明

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi_s^{MN}}{\partial t} = \rho(2H - 2t + r\beta - \beta w_1) \\ \frac{\partial \pi_{m1}^{MN}}{\partial p_1} = -t\beta\rho - 2\mu p_1 + \beta(-1+\rho)t_1 - \beta t_2 + \mu w_1 + \alpha_1 \\ \frac{\partial \pi_{m2}^{MN}}{\partial p_2} = -2\mu p_2 - \beta t_1 - \beta t_2 + \mu w_1 - \mu\rho w_1 + \mu\rho w_2 + \alpha_2 \end{cases} ; \begin{cases} \frac{\partial^2 \pi_s^{MN}}{\partial t^2} = -2\rho < 0 \\ \frac{\partial^2 \pi_{m1}^{MN}}{\partial p_1^2} = -2\mu < 0 \\ \frac{\partial^2 \pi_{m2}^{MN}}{\partial p_2^2} = -2\mu < 0 \end{cases} \quad (13)$$

由式(13)可知, 存在 t^* 使得供应商 A 的期望利润最大, 存在 p_1^{MO*} 使得制造商 1 的期望利润最大, 存在 p_2^{MO*} 使得制造商 2 的期望利润最大, 令 $\frac{\partial \pi_s^{MO}}{\partial t} = 0$;

$$\frac{\partial \pi_{m1}^{MO}}{\partial p_1} = 0; \frac{\partial \pi_{m2}^{MO}}{\partial p_2} = 0, \quad t^* = H + (r - w_1)\beta(1 - \delta), \quad \text{所以,}$$

$$t^{MM*} = (1 - \delta)H + (r - w_1)\beta(1 - \delta)^2$$

将 t^{MM*} 代入 p_1^{MM*} , p_2^{MM*} 可得

$$\begin{cases} t^{MM*} = (1 - \delta)H + (r - w_1)\beta(1 - \delta)^2 \\ p_1^{MM*} = \frac{\beta(-1+\rho)t_1 - \beta t_2 + \beta(1-\delta)\delta\rho[H - \beta(-1+\delta)(r - w_1)] + \beta(1-\delta)\rho[-H + \beta(-1+\delta)(r - w_1)] + \mu w_1 + \alpha_1}{2\mu} \\ p_2^{MM*} = \frac{\beta(-1+\rho)t_1 - \beta t_2 + \beta(1-\delta)\delta\rho[H - \beta(-1+\delta)(r - w_1)] + \beta(1-\delta)\rho[-H + \beta(-1+\delta)(r - w_1)] + \mu w_1 + \alpha_2}{2\mu} \end{cases} \quad (14)$$

2.4 制造商 1 采用供应商 A 供货但并不采取援助措施且制造商 2 采用备用供应商 B 供货情形(策略 4)

制造商 1 表示愿意继续采用供应商 A 供货并承诺援助总资金 L_1 来帮助供应商 A 能尽早完成生产, 制造商 2 表示将放弃供应商 A 并采用备用供

应商 B 供货, 假设 ψ_1 为获得援助后主供应商 A 的生产产能恢复系数, 即此时主供应商 A 的实际交货期变为 $t^{NO} = (1 - \psi_1)t$, 制造商的实际交货期变为 $T_4 = t^{NO} + t_2$, $\psi_1'(L_1) > 0$, 设 $\psi_1(L_1) = \frac{L_1}{3(L_1 + 1)}$, 当制造商援助资金为 0 时, $\psi_1 = 0$, 最大调整系数为 $1/3^{[4]}$, 制造商 1 和制造商 2 的各节点时间如图 5 所示。

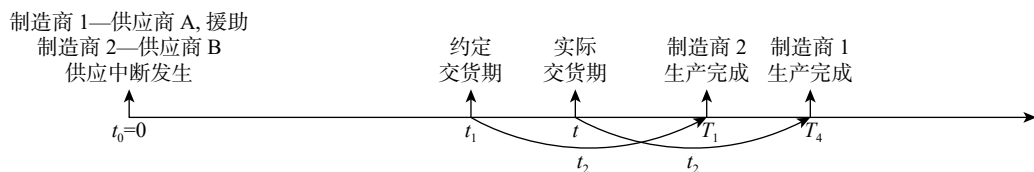


图 5 时间节点示意图 4

Fig.5 Schematic 4 for time node

考虑制造商 1、制造商 2、供应商 A 之间势均力敌, 供应商 A、制造商 1、制造商 2 的期望利润函数:

$$\pi_s^{NO} = (1 - \rho) \{ (w_1 - c_1) [D_1(p_1, T_1) + D_2(p_2, T_1)] \} + \rho \{ (w_1 - c_1) D_1(p_1, T_4) + (r - c_1) [D_1(p_1, T_1) - D_1(p_1, T_4)] - c(t) \} \quad (15)$$

$$\pi_{m1}^{MO} = (1 - \rho) [(p_1 - w_1) D_1(p_1, T_1)] + \rho [(p_1 - w_1) D_1(p_1, T_4) - L_1] \quad (16)$$

$$\pi_{m2}^{MO} = (1 - \rho) [(p_2 - w_1) D_2(p_2, T_1)] + \rho [(p_2 - w_2) D_2(p_2, T_1)] \quad (17)$$

命题 4 存在纳什均衡解 $(t^{NO*}, p_1^{NO*}, p_2^{NO*})$, 使得供应商 A、制造商 1、制造商 2 各自收益最大。

证明方法如命题 3 所示, 本文不作详细证明, 可得

$$\begin{cases} t^{NO*} = (1 - \psi_1)H + \frac{(r - w_1)\beta(1 - \psi_1)^2}{2} \\ p_1^{NO*} = \left\{ \beta(-1 + \rho)t_1 - \beta t_2 + \beta \rho \psi_1 \left[H - H\psi_1 + \frac{1}{2}\beta(-1 + \psi_1)^2(r - w_1) \right] + \mu w_1 - \frac{1}{2}\beta \rho(-1 + \psi_1)[-2H + r\beta(-1 + \psi_1) + (\beta - \beta\psi_1)w_1] + \alpha_1 \right\} / 2\mu \\ p_2^{NO*} = \frac{-\beta t_1 - \beta t_2 + \mu w_1 - \mu \rho w_1 + \mu \rho w_2 + \alpha_2}{2\mu} \end{cases} \quad (18)$$

2.5 制造商 1 采用供应商 A 供货并采取援助措施且制造商 2 采用供应商 A 供货但不采取援助措施情形(策略 5)

制造商 1 表示愿意继续采用供应商 A 供货并承诺援助总资金 L_2 来帮助供应商 A 能尽早完成生产, 制造商 2 表示将继续使用供应商 A 供货, 假设 ψ_2 为获得援助后主供应商 A 的生产产能恢复系数, 即此时主供应商 A 的实际交货期变为 $t^{NM} =$

$(1 - \psi_2)t$, 制造商的实际交货期变为 $T_5 = t^{NM} + t_2$, $\psi_2'(L_2) > 0$, 设 $\psi_2(L_2) = \frac{L_2}{3(L_2 + 1)}$, 当制造商援助资金为 0 时, $\psi_2 = 0$, 最大调整系数为 $1/3^{[4]}$, 制造商 1 和制造商 2 的各节点时间如图 6 所示。

考虑制造商 1、制造商 2、供应商 A 之间势均力敌, 供应商 A、制造商 1、制造商 2 的期望利润函数:

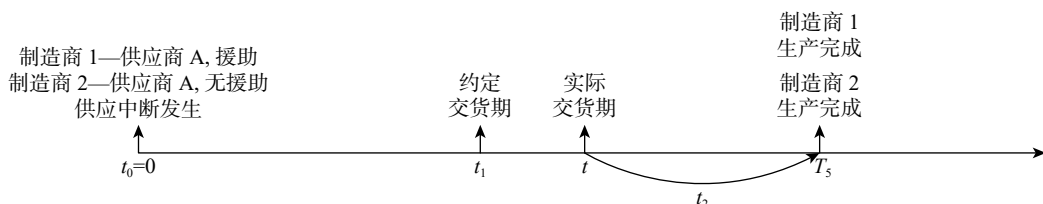


图 6 时间节点示意图 5

Fig.6 Schematic 5 for time node

$$\pi_s^{NM} = (1-\rho)\{(w_1 - c_1)[D_1(p_1, T_1) + D_2(p_2, T_1)]\} + \rho\{(w_1 - c_1)[D_1(p_1, T_5) + D_2(p_2, T_5)] + (r - c_1)[D_1(p_1, T_1) + D_2(p_2, T_1) - D_1(p_1, T_5) - D_2(p_2, T_5)] - c(t)\} \quad (19)$$

$$\pi_{m1}^{NM} = (1-\rho)[(p_1 - w_1)D_1(p_1, T_1)] + \rho[(p_1 - w_1)D_1(p_1, T_5) - L_2] \quad (20)$$

$$\pi_{m2}^{NM} = (1-\rho)[(p_2 - w_1)D_2(p_2, T_1)] + \rho[(p_2 - w_1)D_2(p_2, T_5)] \quad (21)$$

命题 5 存在纳什均衡解 $(t^{NM*}, t_1^{NM*}, t_2^{NM*})$, 使得供应商 A、制造商 1、制造商 2 各自收益最大。证明方法如命题 3 所示, 本文不作详细证明, 可得

$$\begin{cases} t^{NM*} = (1-\psi_2)H + (r-w_1)\beta(1-\psi)^2 \\ p_1^{NM*} = \frac{\beta(-1+\rho)t_1 - \beta t_2 + \beta(1-\psi_2)\psi_2\rho[H - \beta(-1+\psi_2)(r-w_1)] + \beta(1-\psi_2)\rho[-H + \beta(-1+\psi_2)(r-w_1)] + \mu w_1 + \alpha_1}{2\mu} \\ p_2^{NM*} = \frac{\beta(-1+\rho)t_1 - \beta t_2 + \beta(1-\psi_2)\psi_2\rho[H - \beta(-1+\psi_2)(r-w_1)] + \beta(1-\psi_2)\rho[-H + \beta(-1+\psi_2)(r-w_1)] + \mu w_1 + \alpha_2}{2\mu} \end{cases} \quad (22)$$

2.6 制造商 1 采用供应商 A 供货并采取援助措施且制造商 2 采用供应商 A 并采取援助措施情形 (策略 6)

制造商 1 表示愿意继续采用供应商 A 供货并承诺援助总资金 $\frac{M}{2}$ 来帮助供应商 A 能尽早完成生产, 制造商 2 表示将继续使用供应商 A 供货并承诺援助总资金 $\frac{M}{2}$ 来帮助供应商 A 能尽早完成生产

(本文考虑制造商 1 和制造商 2 均摊援助成本), 假设 ξ 为获得援助后主供应商 A 的生产产能恢复系数, 即此时主供应商 A 的实际交货期变为 $t^{NN} = (1-\xi)t$, 制造商的实际交货期变为 $T_6 = t^{NN} + t_2$, $\xi'(M) > 0$, 设 $\xi(M) = \frac{M}{3(M+1)}$, 当制造商援助资金为 0 时, $\xi=0$, 最大调整系数为 $1/3^{[4]}$, 制造商 1 和制造商 2 的各节点时间如图 7 所示。

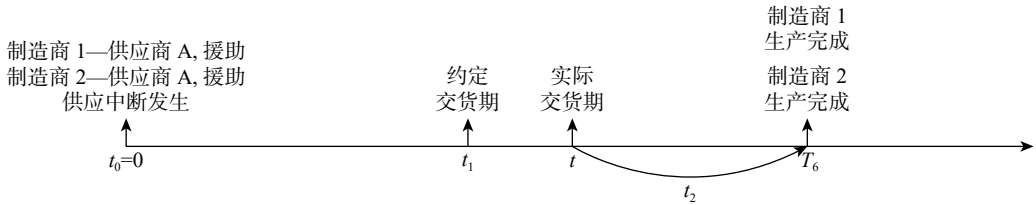


图 7 时间节点示意图 6

Fig.7 Schematic 6 for time node

考虑制造商 1、制造商 2、供应商 A 之间势均力敌, 供应商 A、制造商 1、制造商 2 的期望利润函数:

$$\pi_s^{NN} = (1-\rho)\{(w_1 - c_1)[D_1(p_1, T_1) + D_2(p_2, T_1)]\} + \rho\{(w_1 - c_1)[D_1(p_1, T_6) + D_2(p_2, T_6)] + (r - c_1)[D_1(p_1, T_1) + D_2(p_2, T_1) - D_1(p_1, T_6) - D_2(p_2, T_6)] - c(t)\} \quad (23)$$

$$\pi_{m1}^{NN} = (1-\rho)[(p_1 - w_1)D_1(p_1, T_1)] + \rho[(p_1 - w_1)D_1(p_1, T_6) - L] \quad (24)$$

$$\pi_{m2}^{NN} = (1-\rho)[(p_2 - w_1)D_2(p_2, T_1)] + \rho[(p_2 - w_1)D_2(p_2, T_6) - L] \quad (25)$$

命题 6 存在纳什均衡解 $(t^{NN*}, p_1^{NN*}, p_2^{NN*})$, 使得供应商 A、制造商 1、制造商 2 各自收益最大。证明方法如命题 3 所示, 本文不作详细证明, 可得

$$\begin{cases} t^{NN*} = (1-\xi)H + (r-w_1)\beta(1-\xi)^2 \\ p_1^{NN*} = \frac{\beta(-1+\rho)t_1 - \beta t_2 + \beta(1-\xi)\xi\rho[H - \beta(-1+\xi)(r-w_1)] + \beta(1-\xi)\rho[-H + \beta(-1+\xi)(r-w_1)] + \mu w_1 + \alpha_1}{2\mu} \\ p_2^{NN*} = \frac{\beta(-1+\rho)t_1 - \beta t_2 + \beta(1-\xi)\xi\rho[H - \beta(-1+\xi)(r-w_1)] + \beta(1-\xi)\rho[-H + \beta(-1+\xi)(r-w_1)] + \mu w_1 + \alpha_2}{2\mu} \end{cases} \quad (26)$$

2.7 模型分析

命题 7 当制造商 1 采用供应商 A 供货但不采

取援助措施时, 制造商 2 不同策略下供应商 A 实际交货时间满足如下关系:

- a. $t^{MM*} < t^{MO*}$ 恒成立;
- b. 当 $\delta > \frac{H}{(r-w_1)\beta} + 2$ 时, $t^{MN*} < t^{MM*} < t^{MO*}$;
- c. 当 $\delta < \frac{H}{(r-w_1)\beta} + 2$, $-H\delta + \beta(r-w_1)(-1+\delta)^2 + \frac{(w_1-r)\beta}{2} < 0$ 时, $t^{MM*} < t^{MN*} < t^{MO*}$;
- d. 当 $\delta < \frac{H}{(r-w_1)\beta} + 2$, $-H\delta + \beta(r-w_1)(-1+\delta)^2 + \frac{(w_1-r)\beta}{2} > 0$, $t^{MM*} < t^{MO*} < t^{MN*}$ 。
- 证明 $t^{MO*} - t^{MM*} = \frac{1}{2}\beta(w_1-r) > 0$ 恒成立, 此时 $t^{MM*} < t^{MO*}$ 。

令 $t^{MM*} - t^{MN*} = \delta[-H + r\beta(-2+\delta) - \beta(-2+\delta)w_1] > 0$, 则 $\delta > \frac{H}{(r-w_1)\beta} + 2$, 此时 $t^{MN*} < t^{MM*}$, 则当 $\delta > \frac{H}{(r-w_1)\beta} + 2$ 时, $t^{MN*} < t^{MM*} < t^{MO*}$ 。

当 $\delta < \frac{H}{(r-w_1)\beta} + 2$ 时, 同时 $t^{MN*} - t^{MO*} = -H\delta + \beta(-1+\delta)^2(r-w_1) + \frac{(w_1-r)\beta}{2} < 0$ 时, $t^{MM*} < t^{MN*} < t^{MO*}$ 。

当 $\delta < \frac{H}{(r-w_1)\beta} + 2$ 时, 同时 $t^{MN*} - t^{MO*} = -H\delta + \beta(-1+\delta)^2(r-w_1) + \frac{(w_1-r)\beta}{2} > 0$ 时, $t^{MM*} < t^{MO*} < t^{MN*}$ 。

根据命题 7 可知, 当制造商 1 采用供应商 A 供货但不采取援助措施时, 对比制造商 2 采用备用供应商 B 供货和制造商 2 采用供应商 A 供货但不采取援助措施的策略, 采用供应商 A 供货但不采取援助的策略的实际交货时间更短, 这是由于制造商 2 选择供应商 A 供货使得供应商 A 对未来盈利能力更为乐观, 此时供应商 A 愿意付出成本加快恢复供应链的正常运作。对比制造商 2 的 3 种策略, 当制造商 2 愿意对供应商 A 进行援助

时, 只有当援助达到一定力度时, 才能对供应链的恢复起到正向作用(表现为实际交货时间的缩短), 援助力度较小时反而会损害供应链的恢复, 甚至制造商 2 采用供应商 A 供货并采取援助措施策略的实际交货时间大于制造商 2 采用备用供应商 B。

命题 8 当制造商 1 采用供应商 A 供货并采取援助措施时, 制造商 2 不同策略下供应商 A 实际交货时间满足如下关系:

- a. 当 $\xi + \psi_2 \geq 2 + \frac{H}{(r-w_1)\beta}$, $H(\psi_1 - \psi_2) + \beta(r-w_1)\left[(-1+\psi_2)^2 - \frac{(-1+\psi_1)^2}{2}\right] < 0$ 时, $t^{NN*} < t^{NM*} < t^{NO*}$;
- b. 当 $\xi + \psi_2 \geq 2 + \frac{H}{(r-w_1)\beta}$, $H(\psi_1 - \psi_2) + \beta(r-w_1)\left[(-1+\psi_2)^2 - \frac{(-1+\psi_1)^2}{2}\right] \geq 0$, $H(\psi_1 - \xi) + \beta(r-w_1)\left[(-1+\xi)^2 - \frac{1}{2}(-1+\psi_1)^2\right] \geq 0$ 时, $t^{NO*} < t^{NN*} < t^{NM*}$;
- c. 当 $\xi + \psi_2 \geq 2 + \frac{H}{(r-w_1)\beta}$, $H(\psi_1 - \psi_2) + \beta(r-w_1)\left[(-1+\psi_2)^2 - \frac{(-1+\psi_1)^2}{2}\right] \geq 0$, $H(\psi_1 - \xi) + \beta(r-w_1)\left[(-1+\xi)^2 - \frac{1}{2}(-1+\psi_1)^2\right] < 0$ 时, $t^{NN*} < t^{NO*} < t^{NM*}$;
- d. $\xi + \psi_2 < 2 + \frac{H}{(r-w_1)\beta}$, $H(\psi_1 - \psi_2) + \beta(r-w_1)\left[(-1+\psi_2)^2 - \frac{(-1+\psi_1)^2}{2}\right] \geq 0$ 时, $t^{NO*} < t^{NM*} < t^{NN*}$;
- e. $\xi + \psi_2 < 2 + \frac{H}{(r-w_1)\beta}$, $H(\psi_1 - \psi_2) + \beta(r-w_1)\left[(-1+\psi_2)^2 - \frac{(-1+\psi_1)^2}{2}\right] < 0$, $H(\psi_1 - \xi) + \beta(r-w_1)\left[(-1+\xi)^2 - \frac{1}{2}(-1+\psi_1)^2\right] \geq 0$ 时, $t^{NM*} < t^{NO*} < t^{NN*}$;
- f. $\xi + \psi_2 < 2 + \frac{H}{(r-w_1)\beta}$, $H(\psi_1 - \psi_2) + \beta(r-w_1)\left[(-1+\psi_2)^2 - \frac{(-1+\psi_1)^2}{2}\right] < 0$, $H(\psi_1 - \xi) + \beta(r-w_1)\left[(-1+\xi)^2 - \frac{1}{2}(-1+\psi_1)^2\right] < 0$ 时, $t^{NM*} < t^{NN*} < t^{NO*}$ 。

命题 8、命题 9 的证明方法与命题 7 相同, 本文不作具体证明。根据命题 8 可知, 在不考虑备用供应商 B 供货策略时, 与命题 7 结论相似, 当制造商 1 采取一定援助措施后, 制造商 2 采取合适的援助措施能够帮助供应商加快供应链中断的

恢复(表现为供应商 A 实际交货时间的缩短), 当援助力度较小时, 制造商 2 的援助策略反而使得供应商 A 实际交货时间延长。

命题 9 当制造商 2 采用 3 种不同策略时, 制造商 1 不同策略下供应商 A 实际交货时间满足如下关系:

- a. $\psi_1 < 2 + \frac{2H}{(r-w_1)\beta}$ 时, $t^{MO*} < t^{NO*}$; $\psi_1 > 2 + \frac{2H}{(r-w_1)\beta}$ 时, $t^{MO*} > t^{NO*}$;

b. $\psi_2 < 2 + \frac{H}{(r-w_1)\beta}$ 时, $t^{MM*} < t^{NM*}$; $\psi_2 > 2 + \frac{H}{(r-w_1)\beta}$ 时, $t^{MM*} > t^{NM*}$;

c. $\xi + \delta < 2 + \frac{H}{(r-w_1)\beta}$ 时, $t^{MN*} < t^{NN*}$; $\delta + \psi > 2 + \frac{H}{(r-w_1)\beta}$ 时, $t^{MN*} > t^{NN*}$ 。

命题 9 表明, 无论制造商 2 为了应对供应中断采取何种策略, 当制造商 1 采取合适的援助措施 (援助系数大于阈值) 都能够加快供应链恢复。

11 中的中断概率为 0.1), 制造商 1 的期望收益、

3 算例分析

考虑云环境下 2 个制造商、2 个供应商组成的时间敏感性供应链, 供应商 A 存在供应中断风险时制造商 1 和制造商 2 的策略选择问题, 参考相关文献 [4], 具体设置参数如表 1 所示。相关参数设置满足文章基本假设, 当 $w_1 = 8$ 时, $w_2 > 8.1$, 结论恒成立。

表 1 相关参数取值
Tab.1 Values of relevant parameters

α_1	α_2	μ	β	t_1	t_2	F	H	r	w_1	w_2
100	80	5	0.2	3	5	35	6	5	8	10

3.1 策略 3~6 中期望收益与恢复系数关系的数值算例分析

策略 3 中制造商 2 对供应商 A 采取援助措施, 此时援助成本由制造商 2 决定, 策略 4, 5 中制造商 1 对供应商采取援助措施, 此时援助成本由制造商 1 决定。策略 6 中制造商 1、制造商 2 同时采取援助措施, 此时援助成本由两者共同决定。出于公平考虑, 本文考虑制造商 1 和制造商 2 平均承担援助成本。

根据图 8~11 可知, 当中断概率一定时 (图 8~

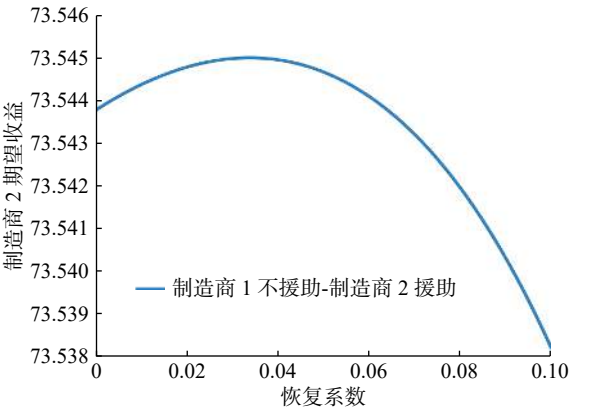


图 8 策略 3 中援助系数与制造商 2 期望收益关系
Fig. 8 Relationship between recovering coefficient and manufacturer 2 expected revenue in strategy 3

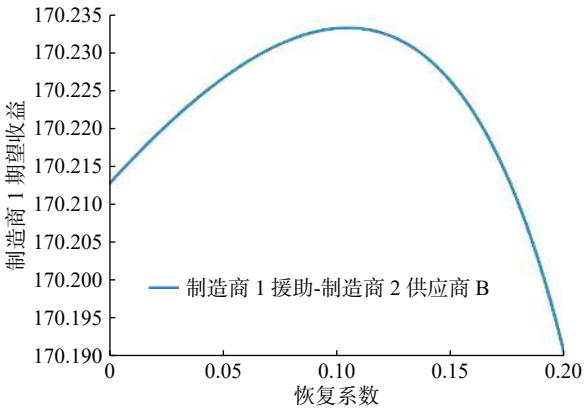


图 9 策略 4 中援助系数与制造商 1 期望收益的关系
Fig. 9 Relationship between recovering coefficient and manufacturer 1 expected revenue in strategy 4

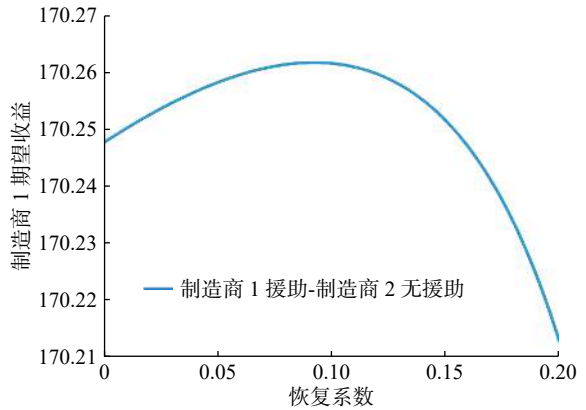


图 10 策略 5 中援助系数与制造商 1 期望收益关系
Fig. 10 Relationship between recovering coefficient and manufacturer 1 expected revenue in strategy 5

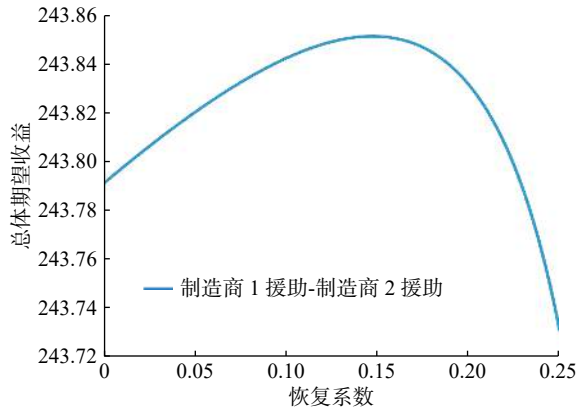


图 11 策略 6 中援助系数与总体期望收益的关系
Fig. 11 Relationship between recovering coefficient and overall expected revenue in strategy 6

制造商 2 的期望收益和总体期望收益均随着恢复系数的增加而增大。恢复系数达到一定值后，制造商 1 的期望收益、制造商 2 的期望收益和总体期望收益均随着恢复系数的增大而减小。这表明制造商 1 或制造商 2 单独进行援助措施时，合适的援助措施能够提高其自身的利润。这是因为援助措施能够引起零售价格和实际交货时间的变动。当制造商 1 或制造商 2 采取合适的援助措施时，这种变动带来的收益大于援助成本；当援助成本过高时，这种变动到来的收益低于援助成本，从而导致制造商 1 或制造商 2 利润的下降。有关制造商 1 和制造商 2 均采取援助措施情形的分析与上文相似，此处不再作具体分析。

将策略 3、策略 4、策略 5 和策略 6 在不同中断概率下进行仿真，可知当 $0 < \rho < 1$ 时，策略 3 中最优恢复系数为 0.032，策略 4 中最优恢复系数为 0.1，策略 5 中最优恢复系数为 0.09，策略 6 中最优恢复系数为 0.146。恢复系数精确至 0.001，期望收益精确至 0.0001，最优恢复系数满足任意中断概率，算例分析中均使用最优恢复系数。

3.2 关于制造商生产完成时间数值算例分析

根据表 2 可知，当供应商 A 发生供应中断时，制造商 1 和制造商 2 均采取援助措施时，供应商 A 的实际交货时间最短。对比 T_3 与 T_5 可知，制造商 1(单独援助时)援助措施相对制造商 2(单独援助时)对供应商 A 供应恢复更为有效。因为，制造商 1 的产品市场需求量更大，采取的援助力度也会更大。

表 2 最优恢复系数下实际交货时间

Tab.2 Actual delivery time under optimal assistance factor

生产完成时间	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
数值	8	10.7	10.2458	10.1570	9.9631	9.6864

3.3 关于制造商 2 的 3 种策略数值算例分析

3.3.1 制造商 1 不援助时制造商 2 的 3 种策略数值算例分析

根据表 3 可知，当制造商 1 采用供应商 A 供货但不采取援助措施时，此时制造商 2 采取策略 3(采用供应商 A 供货并采取援助措施)获得的收益最大，且随着中断概率的不断增大，策略 3 相对于其他 2 种策略的优势更加明显。

3.3.2 制造商 1 援助时制造商 2 的 3 种策略数值算例分析

根据表 4 可知，当制造商 1 采用供应商 A 供

表 3 制造商 1 不援助时制造商 2 的 3 种策略期望收益与中断概率的关系

Tab.3 Relationship between expected revenue and the probability of interruption in three strategies of manufacturer 2 when manufacturer 1 does not assist

策略	ρ					
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
策略1	73.7280	69.9380	66.2480	62.6580	59.1680	55.7780
策略2	73.7280	71.7351	70.1484	68.9604	68.1875	67.8103
策略3	73.7280	71.7471	70.1695	68.9937	68.2185	67.8426

货并采取援助措施时，此时制造商 2 采取策略 5(采用供应商 A 供货但不采取援助措施)获得的收益最大。对于策略 6(采用供应商 A 供货并采取援助措施)，本文考虑制造商 1 和制造商 2 平均分摊援助成本，由于制造商 1 市场需求大于制造商 2 的市场需求。因此，制造商 1 以及供应商 A 会受益于制造商 2 的援助，但制造商 2 的收益反而会下降。对于策略 4(备用供应商策略)，由于备用供应商 B 批发价格昂贵，因此，制造商 2 选择此策略期望收益远低于另外 2 种策略，此时制造商采取策略 5 较为合适。

表 4 制造商 1 援助时制造商 2 的 3 种策略期望收益与中断概率的关系

Tab.4 Relationship between expected revenue and the probability of interruption in three strategies of manufacturer 2 when manufacturer 1 assists

策略	ρ					
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
策略4	73.7280	69.9380	66.2480	62.6580	59.1680	55.7780
策略5	73.7280	73.5773	73.4268	73.2764	73.1261	72.9760
策略6	73.7280	73.5610	73.3940	73.2272	73.0604	72.8938

3.4 关于制造商 1 的 2 种策略数值算例分析

3.4.1 制造商 2 采用备用供应商 B 时制造商 1 的 2 种策略数值算例分析

根据图 12 可知，当制造商 2 采用备用供应商 B 时，此时制造商 1 采取援助策略能够获得更多的收益，且中断概率越大，制造商 1 援助策略获得的超额收益越多。

3.4.2 制造商 2 采用供应商 A 但不援助时制造商 1 的 2 种策略数值算例分析

根据图 13 可知，当制造商 2 采用供应商 A 供货但不采取援助措施时，此时制造商 1 采取援助

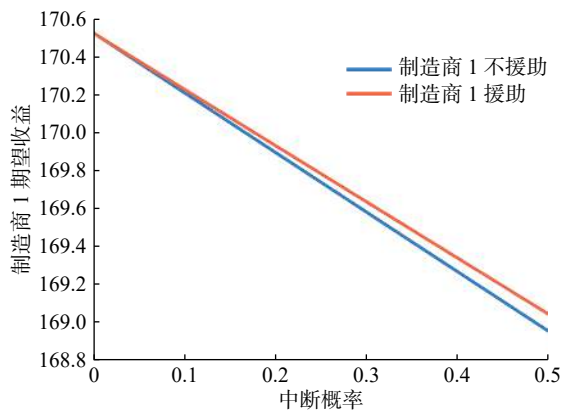


图 12 策略 1 和策略 4 中制造商 1 的期望收益对比
Fig. 12 Comparison of expected revenue of manufacturer 1 in strategy 1 and strategy 4

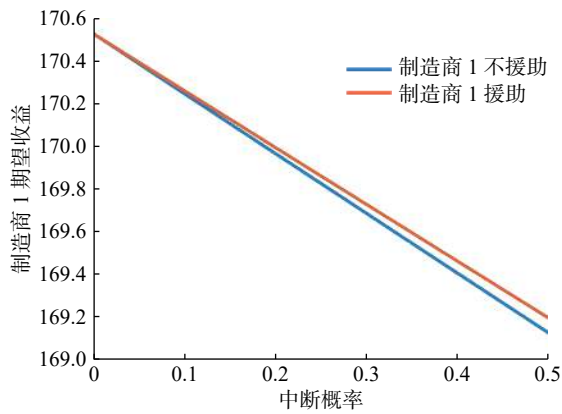


图 13 策略 2 和策略 5 中制造商 1 的期望收益对比
Fig. 13 Comparison of expected revenue of manufacturer 1 in strategy 2 and strategy 5

策略能够获得更多的收益, 且中断概率越大, 制造商 1 援助策略获得的超额收益越多。

3.4.3 制造商 2 采用供应商 A 并援助时制造商 1 的 2 种策略数值算例分析

根据图 14 可知, 制造商 2 选用供应商 A 并采取援助措施时, 当供应中断风险较低时, 此时制造商 1 采取援助措施, 相对不援助策略, 制造商 1 能够获得更高的收益。但当供应中断风险变大时, 此时制造商采取援助措施反而会使得自身的收益下降。因此, 制造商 1 应当充分评估供应中断风险大小, 及时采取不同的应对策略。

4 结论与展望

对二阶时间敏感性供应链进行研究, 制造商 1 采用供应商 A 单源供应, 制造商 2 采用供应商 A 供货且拥有备用供应商 B。当供应商 A 发生供

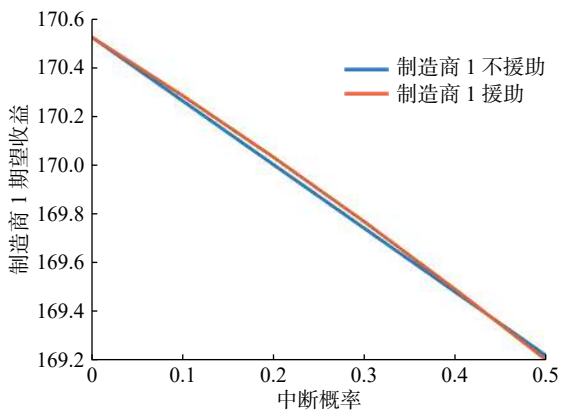


图 14 策略 3 和策略 6 中制造商 1 的期望收益对比
Fig. 14 Comparison of expected revenue of manufacturer 1 in strategy 3 and strategy 6

应中断时, 制造商 1 可以采取 2 种应对策略(采用供应商 A 供货但不采取援助措施, 采用供应商 A 供货并采取援助措施), 制造商 2 可以采取 3 种应对策略(采用供应商 B 供货, 采用供应商 A 供货但不采取援助措施, 采用供应商 A 供货并采取援助措施), 建立制造商的期望利润方程并通过算例对其进行分析, 得到相关结论(制造商 1 和制造商 2 采取援助策略时的援助措施均为最优):

a. 当供应商 A 发生中断时, 制造商 1(或制造商 2)单独采取援助措施时, 合适的援助成本能够使制造商 1(或制造商 2)获得更高的收益。

b. 当供应商 A 发生中断时, 制造商 1 和制造商 2 共同援助时, 供应商 A 实际交货时间最短。当制造商 1 的市场需求量相较于制造商 2 更大时, 制造商 1(单独援助时)的最优援助措施相对制造商 2(单独援助时)对供应中断恢复更为有效。

c. 当制造商 1 采用供应商 A 供货但不采取援助措施时, 制造商 2 采用供应商 A 供货并采取援助措施时的期望收益相对其他策略更高; 当制造商 1 采用供应商 A 供货并采取援助措施时, 制造商 2 采用供应商 A 供货但不采取援助措施时的期望收益相对其他策略更高。

d. 当制造商 2 采用备用供应商 B 供货或采用供应商 A 供货但并不采取援助措施时, 制造商 1 采用供应商 A 供货并采取援助措施时的期望收益均高于其他策略; 当制造商 2 采用供应商 A 供货并采取援助措施时, 制造商 1 策略选择的优劣与中断概率大小有关, 当中断概率较小时, 制造商 1 选择供应商 A 供货并采取援助措施相对其他策略能够获得更高的收益, 当中断概率较大时,

制造商选择供应商 A 但不采取援助措施时相对其他策略能够获得更高的收益。

在今后的研究中,可以构建多制造商、多供应商的模型,对时间敏感性供应链中的供应中断问题进行分析。

参考文献:

- [1] IVANOV D, SOKOLOV B, SOLOVYEVA I, et al. Dynamic recovery policies for time-critical supply chains under conditions of ripple effect[J]. *International Journal of Production Research*, 2016, 54(23): 7245–7258.
- [2] PALAKA K, ERLEBACHER S, KROPP D H. Lead-time setting, capacity utilization, and pricing decisions under lead-time dependent demand[J]. *IIE Transactions*, 1998, 30(2): 151–163.
- [3] ZHANG X M, SONG M L, LIU G D. Service product pricing strategies based on time-sensitive customer choice behavior[J]. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 2017, 13(1): 297–312.
- [4] 李焕之. 云平台环境下制造供应链资源共享博弈研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2019: 31–43.
- [5] 张雪梅, 李盈盈. 基于时间和渠道敏感顾客选择偏好的双渠道定价策略[J]. *运筹与管理*, 2019, 28(7): 179–186.
- [6] 谢祥添, 张毕西. 需求不确定下承诺交货时间和产能决策[J]. *中国管理科学*, 2016, 24(11): 73–80.
- [7] 朱玉炜, 徐琪. 考虑消费者时间敏感的双渠道供应链竞争策略[J]. *计算机集成制造系统*, 2013, 19(6): 1363–1368.
- [8] IYER A V, DESHPANDE V, WU Z P. Contingency management under asymmetric information[J]. *Operations Research Letters*, 2005, 33(6): 572–580.
- [9] KUMAR M, BASU P, AVITTATHUR B. Pricing and sourcing strategies for competing retailers in supply chains under disruption risk[J]. *European Journal of Operational Research*, 2018, 265(2): 533–543.
- [10] LI G, KANG Y C, LIU M Q. Dual-source procurement strategies for manufacturers with supply disruption risks[J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2017, 33(5): 2637–2645.
- [11] BERGER P D, GERSTENFELD A, ZENG A Z. How many suppliers are best? A decision-analysis approach[J]. *Omega*, 2004, 32(1): 9–15.
- [12] BURKE G J, CARRILLO J E, VAKHARIA A J. Single versus multiple supplier sourcing strategies[J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 182(1): 95–112.
- [13] GUPTA V, CHUTANI A. Supply chain financing with advance selling under disruption[J]. *International Transactions in Operational Research*, 2020, 27(5): 2449–2468.
- [14] 徐蓉. 制造商应对供应链中断风险的采购策略研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2020: 19–64.
- [15] 王静, 陈希. 考虑供应链中断风险的制造商风险应对方案研究[J]. *工业工程与管理*, 2019, 24(3): 27–34.
- [16] 李姗姗, 何勇. 供应中断情况下动态混合应急策略研究[J]. *工业工程与管理*, 2020, 25(2): 17–23, 16.
- [17] 张广胜, 刘伟, 高志军. 考虑供给风险的物流服务供应链能力应急采购设计[J]. *统计与决策*, 2018, 34(8): 43–47.
- [18] 何青, 伍星华, 李志鹏. 供应中断风险下制造商的后备采购与改善努力策略比较研究[J]. *数学的实践与认识*, 2020, 50(7): 54–63.
- [19] 颜荣芳, 王倩, 胡文丰. 需求中断下具有提前期的双渠道供应链的风险规避决策[J]. *经济数学*, 2020, 37(1): 48–52.
- [20] 何璐, 郭健全. 碳税下考虑供应中断的制造/再制造企业最优策略[J]. *上海理工大学学报*, 2017, 39(6): 556–562.
- [21] 李新军, 王建军, 达庆利. 供应中断情况下基于备份供应商的应急决策分析[J]. *中国管理科学*, 2016, 24(7): 63–71.
- [22] 陈崇萍, 陈志祥. 供应商产出随机与供应中断下的双源采购决策[J]. *中国管理科学*, 2019, 27(6): 113–122.
- [23] 桂华明, 马士华. 供应链下游订单处置能力扩张协调策略研究[J]. *管理科学*, 2007, 20(3): 2–8.

(编辑: 石 瑛)