

基于营业中断保险的供应链决策模型研究

郑渊韬

河北工业大学理学院, 天津

收稿日期: 2025年2月17日; 录用日期: 2025年3月9日; 发布日期: 2025年3月19日

摘要

营业中断保险可以补偿供应中断风险下相关企业的损失, 提高产业链供应链稳定性和国际竞争力, 优化国内产业链布局。本文针对营业中断保险应用条件及效益, 引入供应中断惩罚条款, 构建了包含零售商、制造商和保险商三级供应链的双层Stackelberg博弈模型, 采用逆向归纳法求解零售商订货量和投保额度、制造商单位批发价格以及保险商的保险费率决策。研究发现: (1) 保险商通过制定合理的费率, 零售商投保可以实现零售商、制造商和保险商三方共赢, 同时商品在零售市场上的零售价格也会降低, 消费者也会从中获益; (2) 中断惩罚条款不会影响未投保时制造商、零售商与保险商的利润, 但会对投保后的各方收益带来影响; (3) 零售商承担了营业中断保险的全部费用, 但通过供应链的传导作用未投保的制造商也将为此受益, 营业中断保险可以有效抵抗供应链中断风险并通过供应链扩展其价值。

关键词

营业中断保险, 保费费率, 双层Stackelberg博弈, 供应中断惩罚条款

Research on Supply Chain Decision Model Based on Business Interruption Insurance

Yuantao Zheng

School of Science, Hebei University of Technology, Tianjin

Received: Feb. 17th, 2025; accepted: Mar. 9th, 2025; published: Mar. 19th, 2025

Abstract

When considering the supply chain interruption risk faced by upstream and downstream members of the supply chain, business interruption insurance can compensate for the losses of relevant enterprises, improve the stability and international competitiveness of the industrial chain supply chain, and optimize the layout of the domestic industrial chain. This article constructs a two-layer Stackelberg game model that includes a three-level supply chain consisting of retailers, manufacturers, and

insurers, focusing on the application conditions and benefits of business interruption insurance. This article uses the reverse induction method to solve the retailer's order quantity and insurance limit, manufacturer's unit wholesale price, and insurer's insurance rate decisions. Research has found that firstly, by setting reasonable rates, insurance companies can achieve a win-win situation for retailers, manufacturers, and insurance companies through retail insurance. At the same time, the retail prices of goods in the retail market will also decrease, and consumers will benefit. Secondly, the penalty clause will not affect the profits of manufacturers, retailers, and insurers when not insured, but it will have an impact on the profits of all parties after being insured. Finally, retailers bear the full cost of business interruption insurance, but uninsured manufacturers through the transmission effect of the supply chain will also benefit from it. Business interruption insurance can effectively resist the risk of supply chain interruption and expand its value through the supply chain.

Keywords

Business Interruption Insurance, Premium Rate, Double Layered Stackelberg Game, Punishment Clause for Supply Interruption

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

当前全球供应链正遭遇严峻挑战,供应链中断风险不断上升,影响着区域经济合作和经济发展。2020年4月,由于新型冠状病毒暴发导致零部件供应中断,现代汽车韩国工厂被迫宣布停产;2021年3月,苏伊士运河发生货物拥塞事件,大量货物在港口积压,直接导致国际货运价格大幅上涨。2022年《安联风险晴雨表》报告全球企业最关注的十大商业风险中,业务中断风险以42%的得票率成为第二大商业风险。此外,营业中断风险以接近三分之一的风险占比成为2020年中国企业面临的风险之首[1]。如今,供应链“断链”已经成为世界各国政府和学者共同关注的焦点。

营业中断保险是指对企业(被保险人)因遭受自然灾害或意外事故等,在一段时间内停产、停业或营业受影响导致的经济损失及营业中断期间发生的必要费用支出提供保障的保险[2]。其作为一种重要的中断风险管理工具,可以有效化解供应链中断风险挑战。如2013年9月4日,SK海力士在江苏无锡的生产工厂意外起火,但由于事先购买营业中断保险,海力士获营业中断保险赔偿共计10.82亿美元的赔偿款;汶川地震后拉法基公司因营业中断保险获赔7.2亿。因此,在全球不确定性加剧的背景下,面对日益加剧的供应链中断风险,将营业中断保险纳入供应链进行研究具有重要的现实意义。

目前,很多学者对供应链中断风险管理的研究主要集中在运营策略方面。Li和Zheng[3]研究发现在多周期模型下,企业可以通过指定恰当的库存策略应对中断风险。舒磊和吴峰[4]在需求确定供应随机的情况下,建立了风险厌恶采购单阶段模型,研究发现企业可以通过库存策略有效应对供应风险。曹武军等[5]探究了在农产品供应链中供给不确定的情况下,农户投保保险具有正外部性,但此时农产品加工商存在搭便车行为。Tang和Kouvelis[6]认为采用双源采购可以有效地进行风险分散。Tomlin和Wang[7]对比了承诺型定价和响应型定价两种情形,发现响应型定价策略能更好地管理供应不确定风险。伏红勇等[8]则构建了农户-公司供应链模型,认为天气看跌期权契约可以外化供应链中断风险的结论。于辉等[9]通过构建供应链应急援助的CVaR模型,得到了企业间的应急援助也可以有效应对中断风险的结论。

李新军等[10]通过分析供应链中断对供应链运作性能的影响,发现引入收入共享契约能实现整体供应链协调。王静等[11]将多种应对策略联合起来进行分析比较,研究不同情况下最优决策问题。Shao [12]则重点考虑补贴政策,不同市场竞争情形会导致制造商选择不同的补贴政策。

同时,不少学者主要从两方面对营业中断保险进行了相关探讨。第一类主要关注营业中断保险产品及其相关制度机制。Swiss Re [13]对营业中断保险进行了详尽的阐述,包括其发展历程、承保范围、赔偿条款等相关条款,同时研究了营业中断保险对企业运营的重要意义。徐常梅[14]则阐述了营业中断保险的定义、特点及索赔等相关内容,此外还介绍了不同国家相关保险的发展状况。第二类则主要关注于营业中断保险对企业决策或供应链的影响。Dong 和 Tomlin [15]首次将营业中断保险引入到企业的风险管理中,研究当发生突发事件时,营业中断保险、库存管理和紧急采购不同作用及三者之间的关系。Martínez 等[16]基于基本库存水平和营业中断保险政策,通过数值结果研究了保险范围和基本库存水平之间的关系。Serpa 和 Krishna [17]基于双边道德风险模型研究了双向保险与多个企业的不可观察努力之间的相互作用。米俊毅等[18]研究了保险对物流业的影响并进行实证分析,发现货运保险显著促进现代物流业发展。于辉和吴腾飞[19]则构建了单周期的供应链中断模型,对制造商是否投保营业中断保险进行研究,分析了营业中断保险的价值和影响。秦绪伟等[20]以委托-代理理论为建模框架,发现保险费率的大小会影响企业投保的意愿。

现有基于保险公司研究供应链决策的文献中,大多将保险市场设定为完全竞争市场,即保险公司设定的保费费率等变量完全由市场决定,将保险费率视为外生变量,从而重点研究供应商和零售商之间的相互博弈问题。在现有文献研究结果基础上,本文将保险商纳入博弈范围,同时引入供应链中断所带来的不确定性和中断惩罚条款,研究在由制造商、零售商和保险商构成的三级供应链中,零售商订货量、制造商单位批发价格和投保额度以及保险商的保险费率决策,分析营业中断保险的应用条件和作用,研究营业中断保险应用下的供应链协调问题,最后为相关企业购买营业中断保险策略提供参考。

2. 问题描述、基本假设与符号说明

2.1. 问题描述

本文考虑由单一零售商、单一制造商和单一保险商构成的三级供应链系统,如图1所示。参考李琳和卢永康[21],零售商面临的市场需求 $D = a - bp$, 其中 $a, b > 0$, a 为市场规模, b 为价格敏感系数。零售商拥有定价权,通过制定产品零售价 p 进而确定订货量 Q 。销售期初零售商从制造商处订购商品,销售期末制造商将商品交付给零售商,同时零售商将商品以价格 p 进行销售。

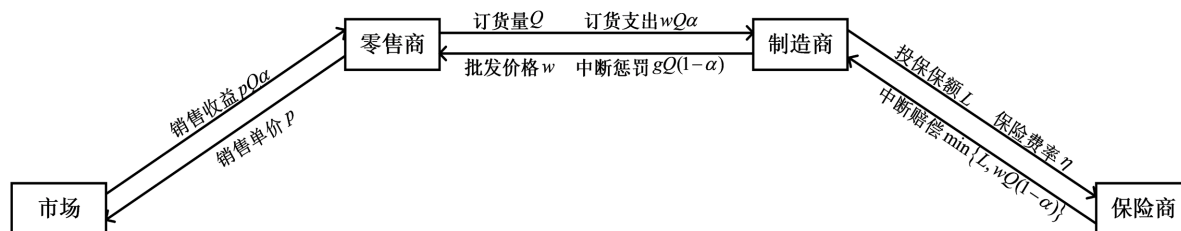


Figure 1. Operating process diagram of retailers, manufacturers, and insurers

图 1. 零售商、制造商和保险商的运作流程图

考虑到如意外火灾、运输破损、交通中断等供应链中断风险时,零售商和制造商可能无法进行正常的商品交易,即供应商的实际交货量是随机的[22]。因此销售期末零售商只能获得签订契约时约定的部分

商品量, 制造商未能如约交付给零售商的商品将受到中断惩罚。为了避免供应链中断风险给制造商所带来的损失, 制造商向保险商进行投保, 保险额度为 L , 保险费率为 η 。

本文中, 零售商、制造商和保险商三者相互作用构成一个双层的 Stackelberg 博弈。其中, 保险商作为博弈的领导者, 决策保险费率 η ; 制造商作为博弈的次级领导者, 根据保险商给定的费率再决策保险额度 L (保险商的最大赔偿) 和单位批发价格 w ; 零售商作为博弈的跟随者, 将根据保险商和制造商的策略, 最后决策批发数量 Q 。

2.2. 基本假设与符号说明

(1) 本文设定制造商的实际交货量为 αQ , 其中 α 为随机交货因子, 即实际交货量与订货量的比值。随机交货因子 α 的取值介于 0 到 1 之间, 其概率密度函数为 $f(\alpha)$, 累积分布函数为 $F(\alpha)$, 均值为 u 。

(2) 批发价契约包含中断惩罚条款, 其中惩罚系数为 g , 即制造商每少供应一件产品所受到的惩罚成本。当供应链发生中断时, 制造商存在惩罚支出, 零售商存在惩罚收入。

(3) 制造商的单位生产成本为 c , 本文中供应链中断风险针对制造商的产成品, 尽管实际交货量随机, 但制造商的生产活动已经进行, 生产成本已经发生。

(4) 零售商、制造商和保险商三者之间是信息对称的, 三者均遵守合同约定, 不存在道德风险。同时, 制造商、零售商和保险商都是风险中性的。

本文中下标 b 代表零售商, s 代表供应商, I 代表保险商; 上标 i 表示有保险的情况, n 表示无保险的情况。其他数学符号及其意义说明见表 1:

Table 1. Model symbol explanation
表 1. 模型符号说明

符号	说明
w	单位批发价格
Q	零售商订货量
c	单位生产成本
r	保险商投资收益率
α	随机交货因子
p	单位零售价格
$R_k^j (k = s, b; j = n, i)$	零售商或制造商的利润
$\pi_k^j (k = s, b; j = n, i)$	零售商或制造商的期望利润
R_I	保险商的利润
π_I	保险商的期望利润

3. 无营业中断保险模型

在无营业中断保险的情形下, 期初零售商根据市场需求 $D = a - bp$ 决定商品零售价 p 及订货量 Q 。制造商进行生产活动, 在销售期末制造商实际交付给零售商产品数量为 αQ , 同时考虑到中断惩罚条款, 可得零售商和制造商的利润函数分别为

$$R_b^n(Q) = pQ\alpha - wQ\alpha + gQ(1 - \alpha)$$

$$R_s^n(w) = wQ\alpha - cQ - gQ(1 - \alpha)$$

进而可得零售商和制造商的期望利润分别为

$$\pi_b^n(Q) = E[R_b^n(Q)] = pQu - wQu + gQ(1-u) \quad (1)$$

$$\pi_s^n(w) = E[R_s^n(w)] = wQu - cQ - gQ(1-u) \quad (2)$$

命题 1 在无营业中断保险的情形下，给定制造商的批发价格 w ，零售商的最优订货量 $Q^{n*} = \frac{au - buw + bg(1-u)}{2u}$ ，同时制造商的最优单位批发价格 w^{n*} 满足 $w^{n*} = \frac{au + bc + 2bg(1-u)}{2bu}$ 。

推论 1 在无营业中断保险的情况下，零售商与制造商的最大期望利润分别为 $\pi_b^n = \frac{(au - bc)^2}{16bu}$ ， $\pi_s^n = \frac{(au - bc)^2}{8bu}$ 。最优订货量、制造商和零售商的最大期望利润与随机交货因子 α 的分布有关，但与惩罚系数 g 无关。批发契约中是否包含中断惩罚条款以及惩罚系数 g 的大小只会影响最优批发价格 w^{n*} 。

这表明在无营业中断保险的情况下，当制造商考虑到中断惩罚条款的存在时，其会选择提高批发价格来补偿自己可能出现的惩罚支出。惩罚系数 g 越大，制造商设定的单位批发价格也会越高，最终二者带来的影响相互抵消，制造商和零售商的期望利润不变，中断惩罚条款的影响只会体现在单位批发价格上。

4. 有营业中断保险模型

上节主要讨论了无营业中断保险情形下零售商和制造商的最优决策，本节主要分析存在营业中断保险的情形下零售商的最优订货数量决策、制造商的批发价格决策和最优投保额度决策以及保险商的保险费率决策，探索存在供应链中断风险情形下营业中断保险对零售商和制造商经营决策的影响。

在我国相关保险的规定中，营业中断保险为财产保险的附加险，此外在理赔阶段，只有财产保险得到了赔偿，营业中断保险才能得到赔偿。为了更清楚地刻画出营业中断保险对供应链中各企业的影响，本文采用英国的保险模式，即企业可以单独投保营业中断保险[23]。

面对此类供应链中断风险，保险商为制造商推出营业中断保险。由于营业中断保险赔偿范围包含供应链中断所造成的利润损失或为了减少利润损失而支出的必要费用[24]，因此契约中的中断惩罚成本不在营业中断保险的赔付范围中，此成本需要制造商独自承担。

正常情况下，供应商的利润为 $wQ - cQ$ ，当存在供应链中断风险时供应商的实际利润为 $wQ\alpha - cQ$ ，可得中断风险给制造商带来的利润损失为 $wQ(1-\alpha)$ 。因此，当供应链中断时，保险商会对制造商的利润损失进行赔付，赔付金额为 $\min\{wQ(1-\alpha), L\}$ ，其中 $wQ(1-\alpha)$ 为供应链中断时制造商的利润损失。保险商制定保险费率 η ， $0 \leq \eta \leq 1$ ，零售商可在销售期初选择保险额度 L 。在期初保险商收到保费 ηL 并将其进行投资，投资利率为 r 。

4.1. 零售商决策

在有营业中断保险情形下，由于零售商既非营业中断保险的投保人亦非营业中断保险的受益人，因此零售商的期望利润与无营业中断保险情形下相同，即为 $\pi_b^n = E[R_b^n] = -\frac{u}{b}Q^2 + \left[\frac{au}{b} + g - uw - ug\right]Q$ 。此时，在有营业中断保险的情形下，零售商的最优订货量 $Q^{i*} = \frac{au - buw + bg(1-u)}{2u}$ 。

4.2. 制造商决策

在有营业中断保险情形下，零售商需要支付保费 ηL 来购买营业中断保险，该保险的保险额度为 L 。当供应链发生中断时，保险商需要赔付给制造商的金额为 $\min\{wQ(1-\alpha), L\}$ 。因此，可得制造商的利润

函数为

$$R_s^i(w, L) = \begin{cases} wQ - cQ - gQ(1-\alpha) - \eta L, & \hat{\alpha} < \alpha \leq 1 \\ wQ\alpha - cQ - gQ(1-\alpha) + (1-\eta)L, & 0 < \alpha \leq \hat{\alpha} \end{cases} \quad (3)$$

其中 $\hat{\alpha} = 1 - \frac{L}{wQ}$ 。由此可得制造商的期望利润为

$$\pi_s^i(w, L) = wQ - cQ - \eta L - wQ \int_0^{\hat{\alpha}} F(\alpha) d\alpha - gQ \int_0^1 F(\alpha) d\alpha \quad (4)$$

命题 2 给定保险商保险费率 η ，制造商的最优单位批发价格 w^{i*} 和最优投保额度 L^* 满足 $A + \frac{bc}{2} + \frac{bg}{2} \int_0^1 F(\alpha) d\alpha = A \int_0^{\hat{\alpha}} F(\alpha) d\alpha + \frac{AL^{i*}}{w^{i*}Q^{i*}} F(\hat{\alpha})$ 和 $F(\hat{\alpha}) = \eta$ 。其中 $A = Q^{i*} + w^{i*} \frac{\partial Q^{i*}}{\partial w} = Q^{i*} - \frac{bw^{i*}}{2}$ 。

证明：对 π_s^i 求关于 w 和 L 的一阶导和二阶导，可以得到

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_s^i(w, L)}{\partial w} &= A + \frac{bc}{2} - A \int_0^{\hat{\alpha}} F(\alpha) d\alpha - \frac{AL}{wQ} F(\hat{\alpha}) + \frac{bg}{2} \int_0^1 F(\alpha) d\alpha \\ \frac{\partial^2 \pi_s^i(w, L)}{\partial w^2} &= -b + b \int_0^{\hat{\alpha}} F(\alpha) d\alpha + \frac{bL}{wQ} F(\hat{\alpha}) - \frac{A^2 L^2}{w^3 Q^3} f(\hat{\alpha}) \\ \frac{\partial \pi_s^i(w, L)}{\partial L} &= F(\hat{\alpha}) - \eta \\ \frac{\partial^2 \pi_s^i(w, L)}{\partial L^2} &= -\frac{f(\hat{\alpha})}{wQ} \\ \frac{\partial^2 \pi_s^i(w, L)}{\partial w \partial L} &= \frac{\partial^2 \pi_s^i}{\partial L \partial w} = \frac{AL}{w^2 Q^2} f(\hat{\alpha}) \end{aligned}$$

通过计算可得

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \pi_s^i(w, L)}{\partial w \partial L} \frac{\partial^2 \pi_s^i(w, L)}{\partial L \partial w} - \frac{\partial^2 \pi_s^i(w, L)}{\partial w^2} \frac{\partial^2 \pi_s^i(w, L)}{\partial L} \\ &= \frac{A^2 L^2}{w^4 Q^4} f^2(\alpha) + \frac{f(\hat{\alpha})}{wQ} \left[b \int_0^{\hat{\alpha}} F(\alpha) d\alpha + \frac{bL}{wQ} F(\hat{\alpha}) - \frac{A^2 L^2}{w^3 Q^3} f(\hat{\alpha}) - b \right] \\ &= \frac{bf(\hat{\alpha})}{wQ} \left[\int_0^{\hat{\alpha}} F(\alpha) d\alpha + \frac{L}{wQ} F(\hat{\alpha}) - 1 \right] < \frac{bf(\hat{\alpha})}{wQ} \left(\hat{\alpha} + \frac{L}{wQ} - 1 \right) = 0 \end{aligned}$$

从而可知 π_s^i 是 w 和 L 的凹函数。因此，可知制造商最优单位批发价格 w^{i*} 和最优投保额度 L^* 分别在 $\frac{\partial \pi_s^i(w, L)}{\partial w} = 0$ 和 $\frac{\partial \pi_s^i(w, L)}{\partial L} = 0$ 时取得，证毕。

当供应链发生中断时，制造商会面临利润损失和惩罚支出两种风险。当存在营业中断保险时，制造商通过购买该保险来弥补当突发事件出现时带来的利润损失，供应商会从保险商处得到保险赔偿，因此相比于无营业中断保险，购买保险的供应商会降低单位批发价格，进而刺激了零售商增加订货量，同时零售商制定的市场零售价也会降低，消费者也会从中受益。

定理 1 随着保险费率 η 的上升，制造商的批发单价逐渐上升且零售商的订货量逐渐下降。但只要保险费率 $\eta < 1$ ，制造商购买营业中断保险后的最优批发单价总是小于未购买保险时的最优批发单价，且制造商投保后零售商的最优订货量总是高于未投保时的订货量。同时双方收益也会提高。

证明：结合式(1)和式(4)，可得 $\frac{\partial Q^{i*}}{\partial \eta} = -\frac{b}{2} \frac{\partial w^{i*}}{\partial \eta} = \frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial \eta}$ 且 $\frac{\partial \hat{\alpha}}{\partial \eta} = \frac{1}{f(\hat{\alpha})}$ 。对 w^{i*} 分别求关于 η 的导数，可

得 $\frac{\partial A}{\partial \eta} \left[\int_0^{\hat{\alpha}} F(\alpha) d\alpha + \frac{L^{i*}}{w^{i*} Q^{i*}} F(\hat{\alpha}) - 1 \right] + \frac{AL^{i*}}{w^{i*} Q^{i*}} = 0$ 。解一阶线性微分方程, 可得出当 $\eta \in (0, 1)$ 时, $\frac{\partial A}{\partial \eta} > 0$,

进而可得出 $\frac{\partial Q^{i*}}{\partial \eta} > 0$, $\frac{\partial w^{i*}}{\partial \eta} < 0$, 因此随着保费费率 η 的增加, 批发单价逐渐上升且零售商的订货量下降。

当 $\eta = 1$ 时可得 $w^{i*} = \frac{au + bc + 2bg(1-u)}{2bu}$ 且 $Q^{i*} = \frac{au - buw + bg(1-u)}{2u}$, 二者数值与未投保时相等, 证毕。

推论 2 只要保险费率 $\eta < 1$, 制造商的投保行为不仅会使自身收益上升, 还会通过供应链的传导效应使得零售商的利润也得到增加。

证明: 由于 π_s^i 连续且可导, 同时 $0 < \eta < 1$, 结合命题公式(5)及命题三可得 $\frac{\partial \pi_s^i}{\partial \eta} < 0$ 。将 $\eta = 0$ 代入命题三和式(5), 可得 $w^{i*} = \frac{au + bc + 2bg(1-u)}{2bu}$, $Q^{i*} = \frac{au - buw + bg(1-u)}{2u}$ 且 $\pi_s^i = \frac{(au - bc)^2}{8bu}$ 。可知投保后制造商的利润一定高于未投保时。零售商相关证明过程与此类似, 略。证毕。

4.3. 保险商决策

在销售期初, 保险商会从零售商处得到保费收入 ηL , 保险商会将保费用于投资, 其投资收益为 r 。在期末, 当供应链发生中断时, 保险商进行赔付, 赔付金额为 $\min\{wQ(1-\alpha), L\}$, 可得保险商利润函数为

$$R_I(\eta) = \begin{cases} \eta L(1+r) - wQ(1-\alpha), & \hat{\alpha} < \alpha \leq 1 \\ \eta L(1+r) - L, & 0 < \alpha \leq \hat{\alpha} \end{cases} \quad (5)$$

通过数学换算, 可得保险商的期望利润函数为

$$\pi_I(\eta) = \eta L(1+r) - wQ \int_{\hat{\alpha}}^1 F(\alpha) d\alpha \quad (6)$$

命题 3 保险商最优保险费率 η^* 满足

$$L^*(1+r) + \frac{\left(\frac{w^{i*}}{2} - \frac{Q^{i*}}{b}\right) AL^* \left[\eta^* L(1+r) - w^{i*} Q^{i*} \int_{\hat{\alpha}}^1 F(\alpha) d\alpha \right]}{w^{i*2} Q^{i*2} \left[1 - \int_0^{\hat{\alpha}} F(\alpha) d\alpha - \frac{L^*}{w^{i*} Q^{i*}} F(\hat{\alpha}) \right]} = \frac{\eta^* (1+r) - w^{i*} Q^{i*} F(\hat{\alpha})}{f(\hat{\alpha})}$$

证明: 与李红萍[25]类似, 由于 $\pi_I(\eta)$ 是连续且可导的, 同时 $0 < \alpha < 1$, 因此可知最优保险费率 η^* 在 $\frac{\partial \pi_I(\eta)}{\partial \eta} = 0$ 处取得。对 $\pi_I(\eta)$ 求关于 η 的一阶导, 可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_I(\eta)}{\partial \eta} &= L(1+r) + \eta(1+r) \frac{\partial L}{\partial \eta} - \left(\frac{\partial w}{\partial \eta} Q + w \frac{\partial Q}{\partial \eta} \right) \int_{\hat{\alpha}}^1 F(\alpha) d\alpha + w Q F(\hat{\alpha}) \frac{\partial \hat{\alpha}}{\partial \eta} \\ &= L(1+r) + \eta(1+r) \left[\frac{\left(\frac{w}{2} - \frac{Q}{b}\right) L}{wQ} \frac{\partial A}{\partial \eta} - \frac{1}{f(\hat{\alpha})} \right] - \left(\frac{w}{2} - \frac{Q}{b} \right) \frac{\partial A}{\partial \eta} \int_{\hat{\alpha}}^1 F(\alpha) d\alpha + \frac{w Q F[\hat{\alpha}]}{f(\hat{\alpha})} \\ &= L(1+r) + \frac{\left(\frac{w}{2} - \frac{Q}{b}\right) AL \left[\eta L(1+r) - wQ \int_{\hat{\alpha}}^1 F(\alpha) d\alpha \right]}{w^2 Q^2 \left[1 - \int_0^{\hat{\alpha}} F(\alpha) d\alpha - \frac{L}{wQ} F(\hat{\alpha}) \right]} = \frac{\eta(1+r) - wQ F(\hat{\alpha})}{f(\hat{\alpha})} \end{aligned}$$

令其等于零即可得出结论，证毕。

不同于传统精算方法，本文将保险商纳入博弈范畴，探讨参与博弈的保险商如何设定最优保险费率以实现自身利益最大化。在本文构建的模型中，尽管保险商处于博弈的领导者地位，但其设定的保险费率依旧受到限制，并非越高越好。若保险商设定的保险费率较高，则制造商对于保险的需求下降；但若设置过低，尽管制造商购买保险的意愿强烈但保险商也会出现亏损的情况。只有设置一个合理的保险费率，保险商、零售商和制造商才会实现三方共赢，增加个体利润的同时，也会促进供应链本身的运转。

5. 数值模拟

为了更好地对供应商有无购买营业中断保险两种情况进行对比、更好地探究中断惩罚系数对供应链决策的影响以及更好地研究保险商的定价决策，下面将通过数值模拟来分析：1) 营业中断保险及保费费率对制造商与零售商的影响与作用；2) 保险公司的利润随保费费率的变化；3) 中断惩罚系数对制造商与供应商决策的影响。

为了使模拟结果更具代表性，本文假设随机交货因子 α 服从 β 分布且其参数 $m=3, n=1.5$ 。在现实经济活动中，中断带来的损失越巨大，其发生的概率往往越小，上述分布可以较好地刻画此类情形。如无特殊说明，其余参数见表 2。

Table 2. Relevant parameter setting table

表 2. 相关参数设定表

参数	a	b	c	g
取值	2000	5	50	10

5.1. 营业中断保险对制造商的影响与作用

从图 2 可以看出只要保险商设定的保费费率 $\eta < 1$ ，则制造商均会选择购买营业中断保险且投保后制造商的单位批发价格会降低同时制造商的利润会上升。这是因为营业中断保险会弥补制造商因为供应链中断风险而带来的部分损失，这会使其降低批发单价，单价的降低会促使零售商批发更多数量的产品，最终使得制造商的利润上升。当费率 $\eta = 1$ 时，购买营业保险的成本与其带来的潜在收益相等，此时制造商投保与否均不影响制造商的批发单价与收益。

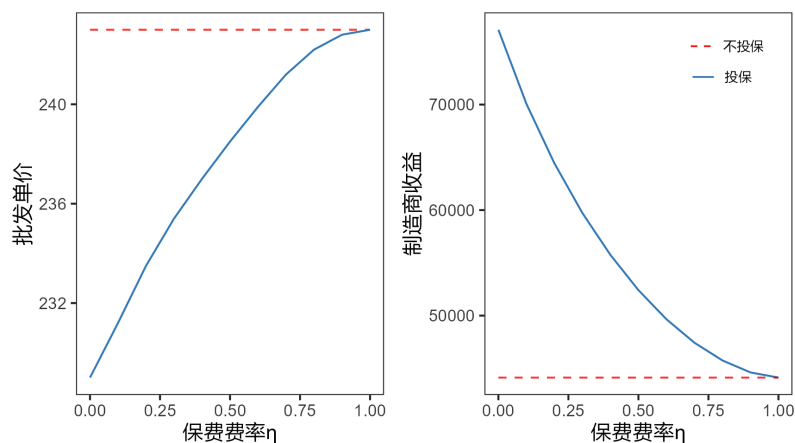


Figure 2. The impact of business interruption insurance on manufacturers' whole-sale prices and profits

图 2. 营业中断保险对制造商批发价及利润的影响

图 3 显示了不同保费费率下制造商投保时选择的保障水平以及支付保费的变化情况。可以发现随着保费费率的升高, 制造商选择的保障水平会逐渐下降, 同时其支付给保险公司的保费金额会先上升后下降。因此保险人需要经过权衡之后设置一个合适的费率水平。

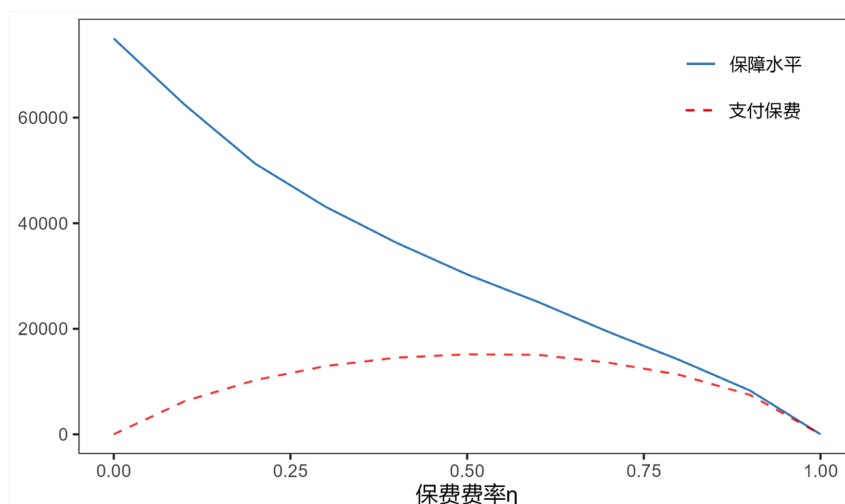


Figure 3. Impact of business interruption insurance on manufacturer's protection level and premium payment

图 3. 营业中断保险对制造商保障水平及保费支付的影响

5.2. 营业中断保险对制造商的影响与作用

结合图 1 和图 4 可知, 营业中断保险使得制造商降低批发单价进而刺激了零售商批发量的增加, 最终使得零售商的利润也得到提升。尽管营业中断保险的投保人、被保险人和受益人均均为制造商, 但零售商依旧能享受营业中断保险所带来的益处。这显示出营业中断保险在供应链中的传导作用, 保险带来的益处从制造商传递到零售商, 零售商一家企业负担了所有的保险成本但却能使得双方均受益。此外图 5 表明营业中断保险带来的益处也会传导至消费市场, 市场上的商品数量得到增加, 同时消费者花费更低的价格即可购买到相同的商品。

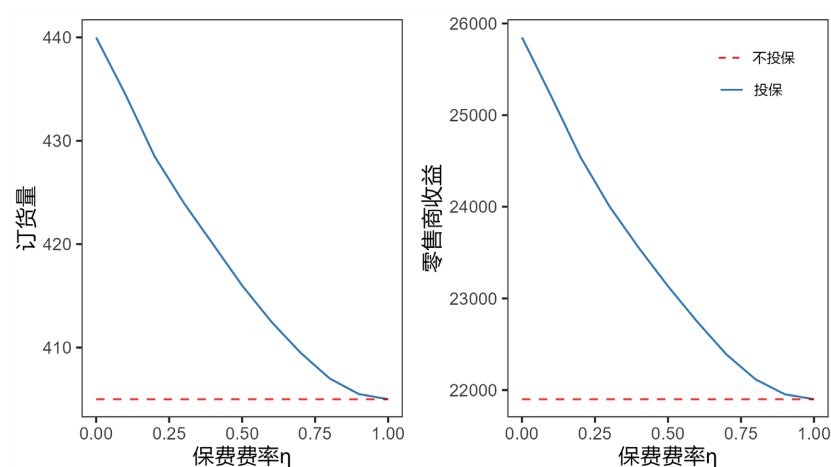


Figure 4. The impact of business interruption insurance on manufacturers' wholesale prices and profits

图 4. 营业中断保险对制造商批发价及利润的影响

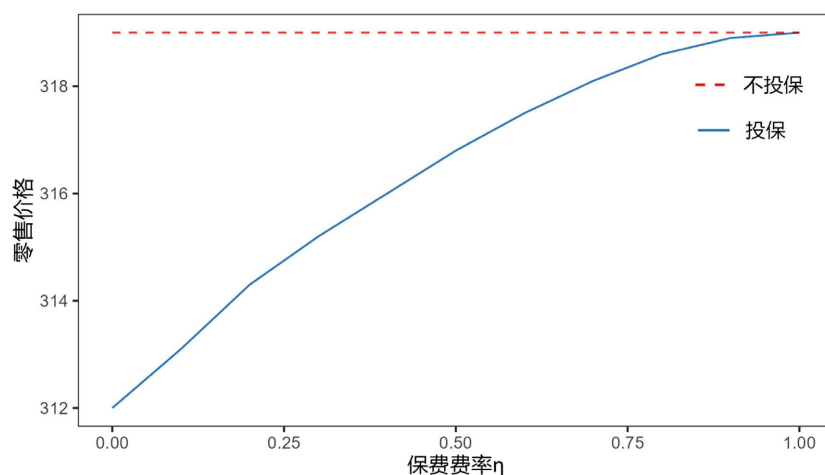


Figure 5. Impact of business interruption insurance on market retail prices

图 5. 营业中断保险对市场零售价的影响

5.3. 保险公司定价决策

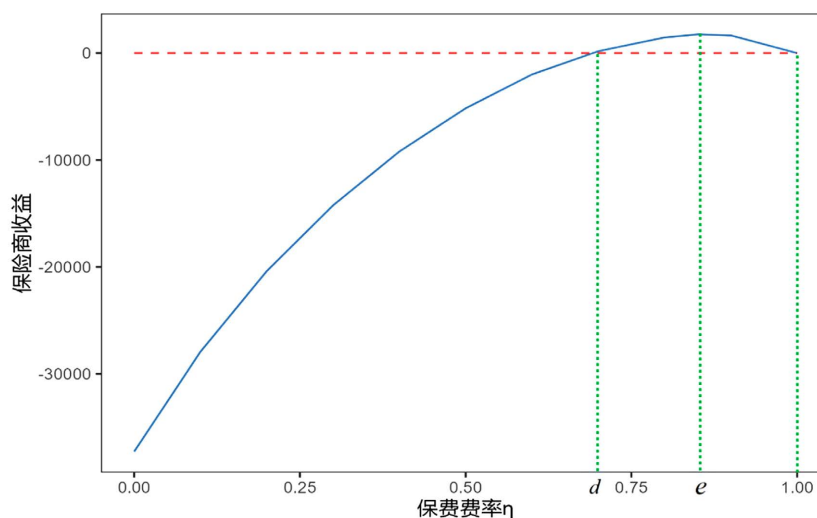


Figure 6. Profit of insurance companies

图 6. 保险商利润

观察图 6 可知, 存在三方共赢区间。当费率在某一区间时, 制造商存在购买营业中断保险的意愿且保险商的利润为正值, 再结合供应链的传导作用, 此时制造商、零售商、保险商实现三方共赢, 消费者也会因此获益。

有时保险商出于多期考虑或为了占据更多的市场份额, 可能不会选择自身当期利润最大的最优保险费率, 而是会制定一个在可接受费率区间内但却比最优费率小的费率。在本次模拟中, 当 $\eta \in (d, 1)$ 时保险商的期望收益为正值, 当费率 $\eta = e$ 时保险商的收益取得最大值, 当 $\eta = d$ 时保险商收益为零。在费率区间 (d, e) 中, 随着费率的升高, 制造商的投保意愿下降但保险商的收益上升。在费率区间 $(e, 1)$ 中, 随着费率的升高, 投保意愿和保险商的收益均会下降, 因此尽管此区间依旧可以实现三方共赢, 但在现实生活中保险商并不会将费率指定在此区间内。保险商可以权衡自身收益和市场份额, 综合考虑后选择一个介于 e 和 d 之间的合适的费率。此外, 本文中保险公司只承保了一家企业, 但在现实中保险商会有大量

的投保客户，客户之间同时发生损失的概率相当小，因此现实中保险商的收益可能会比本文模拟的情况要高很多，其可接受费率区间范围也可能会更大。

5.4. 中断惩罚条款对各方利润的影响

本小节将探讨中断惩罚系数 g 对供应链各方运作决策所带来的影响。本文将 g 分别赋值为 10, 50, 150 共 3 个数值，分别进行数值模拟，所得决策如图 7 所示。

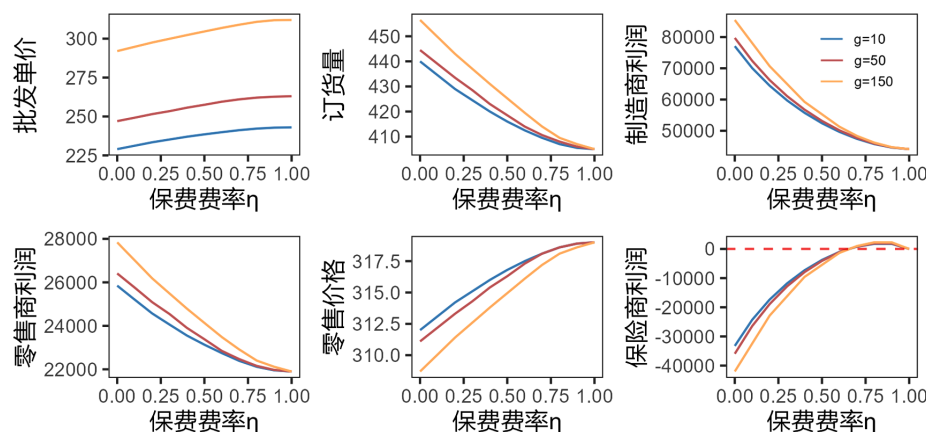


Figure 7. Decisions and benefits of all parties under different interruption penalty coefficients g

图 7. 不同中断惩罚系数 g 的情形下各方决策及收益

从图 7 可知，中断惩罚条款不会影响未投保时制造商、零售商与保险商的利润，但会对投保后的各方收益带来影响。本次模拟中，当保费费率在一个合理区间内时，随着中断惩罚系数 g 的增加，中断惩罚条款可以使制造商、零售商和保险商三者的收益均上升。这是因为投保后营业中断保险会补偿制造商一部分供应链中断所带来的损失，随着终端惩罚系数的增加，尽管制造商制定的批发价格不断上升，但上升的幅度要小于未投保时的价格水平，再加上中断惩罚条款的影响，零售商会选择订购更多的产品，这又会使得制造商向保险商支付更高的保费来提高自身的投保额度，保险商也可以将保费投入货币市场获取更多的收益。综合作用下，在本次模拟中正面影响大于负面影响，制造商、零售商和保险商都获得了更高的收益。

6. 结论

面对现实贸易活动中存在的供应链中断风险，将供应链中断风险及营业中断保险纳入供应链研究领域具有重要意义。本文在考虑保险商参与博弈的情形下，构造了由制造商、零售商和保险商三方构成的双层 Stackelberg 博弈，探讨了不同情况下各方最优决策问题，得到以下研究结论：

(1) 本文研究了营业中断保险的供应链传导效果。制造商可以通过购买营业中断保险并从中获益，同时通过供应链的传导作用未投保的零售商也将为此受益，且投入市场的商品数量也得到增加，零售价格降低。这说明营业中断保险可以通过供应链扩大其价值，并得到启示——重视并不断发展和完善营业中断保险可以有效应对供应链中断风险，增强供应链的抗风险能力。

(2) 本文研究得出了营业中断保险的适用条件。只要营业中断保险的费率不为 1 则制造商选择投保总是有利可图的。同时保险费率存在一个多方共赢区间，使得营业中断保险对于零售商、制造商和保险商三方而言都是有利的，这为保险公司合理定价以及政府层面促进供应链发展提供了决策指导。

(3) 本文探讨了中断惩罚条款对供应链各方收益的影响。中断惩罚条款不会影响未投保时制造商、零

售商与保险商的利润，但会对投保后的各方收益带来影响。

在本文中，营业中断保险费用由制造商全额负担，但零售商却零成本享受了保险带来的益处。从合作博弈的角度出发，接下来可以在如何分配保险利润或分担保险成本对双方更公平这一方面进行探索。此外，本文的模型为单周期模型、博弈模型为 Stackelberg 博弈且博弈方为单一制造商，单一零售商和单一保险商，未来可以考虑多周期非 Stackelberg 博弈问题或研究多个制造商、多个零售商和多个保险商组成的博弈问题。

参考文献

- [1] 钱佳星, 黄城, 周传鸽. 重视发展营业中断保险[N]. 中国银行保险报, 2020-02-13(002).
- [2] 杨宝华. 营业中断险: 业务持续管理与保险产品创新的契合[J]. 华东经济管理, 2011, 25(2): 49-52.
- [3] Li, Q. and Zheng, S. (2006) Joint Inventory Replenishment and Pricing Control for Systems with Uncertain Yield and Demand. *Operations Research*, **54**, 696-705. <https://doi.org/10.1287/opre.1060.0273>
- [4] 舒磊, 吴锋. 不可靠供应下的风险厌恶采购单阶段模型[J]. 系统管理学报, 2015, 24(4): 602-609.
- [5] 曹武军, 原诗琪, 胡松林, 等. 农业保险及风险厌恶下农产品供应链保费共担模型研究[J]. 农林经济管理学报, 2018, 17(2): 130-140.
- [6] Tang, S.Y. and Kouvelis, P. (2011) Supplier Diversification Strategies in the Presence of Yield Uncertainty and Buyer Competition. *Manufacturing & Service Operations Management*, **13**, 439-451. <https://doi.org/10.1287/msom.1110.0337>
- [7] Tomlin, B. and Wang, Y. (2008) Pricing and Operational Recourse in Coproduction Systems. *Management Science*, **54**, 522-537. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1070.0807>
- [8] 伏红勇, 但斌, 王磊, 等. CVaR 准则下“公司 + 农户”模式的天气看跌期权契约[J]. 管理科学学报, 2020, 23(11): 59-73.
- [9] 于辉, 邓亮, 孙彩虹. 供应链应急援助的 CVaR 模型[J]. 管理科学学报, 2011, 14(6): 68-75.
- [10] 李新军, 季建华, 王淑云. 供应中断情况下基于双源采购的供应链协调与优化[J]. 管理工程学报, 2014, 28(3): 141-147.
- [11] 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.
- [12] Shao, X. (2018) Production Disruption, Compensation, and Transshipment Policies. *Omega*, **74**, 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.01.004>
- [13] Swiss Re Group (2004) Business Interruption Insurance. Swiss Reinsurance Company Technical Publishing.
- [14] 徐常梅. 利润损失保险学[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2007.
- [15] Dong, L. and Tomlin, B. (2012) Managing Disruption Risk: The Interplay between Operations and Insurance. *Management Science*, **58**, 1898-1915. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1120.1524>
- [16] Martínez, A., Pascual, R. and Maturana, S. (2015) A Methodology for Integrated Critical Spare Parts and Insurance Management. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, **32**, 90-98. <https://doi.org/10.1002/asmb.2125>
- [17] Serpa, J.C. and Krishnan, H. (2017) The Strategic Role of Business Insurance. *Management Science*, **63**, 384-404. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2015.2348>
- [18] 米俊毅, 匡海波, 余方平, 等. 我国货运保险对现代物流业促进效用研究[J]. 管理评论, 2015, 27(9): 201-212.
- [19] 于辉, 吴腾飞. 基于营业中断保险的供应链中断模型分析[J]. 保险研究, 2016(5): 24-35.
- [20] 秦绪伟, 杨玉佩, 康万根, 等. 面向关键设备维修服务的 PBC 合同与营业中断险集成设计模型及分析[J]. 中国管理科学, 2017, 24(11): 19-28.
- [21] 李琳, 卢永康. 政府补贴下订单农业供应链的内部融资决策[J/OL]. 中国管理科学, 2022, 1-13. <https://www.cnndoi.org/Resolution/Handler?doi=10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0183>, 2025-03-14.
- [22] 李果, 张祥, 马士华, 等. 不确定交货条件下供应链装配系统订货优化与协调研究综述[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(2): 369-380.
- [23] 陶存文, 耿宇亭. 国外营业中断保险制度及其启示[J]. 保险研究, 2008(4): 6-10.
- [24] 孙晶. 有关利润损失保险理赔若干问题的解析[J]. 上海保险, 2008(4): 18-21.
- [25] 李红萍, 龚本刚, 党秀静, 等. 基于信用保险的供应链决策模型与协调策略研究[J]. 系统科学与数学, 2022, 42(8): 2180-2197.