

商业保险在供应链质量风险管理中的应用研究^①

陈静¹, 魏航^{2*}, 谢磊²

(1. 山东工商学院工商管理学院, 烟台 264005; 2. 上海财经大学商学院, 上海 200433)

摘要: 实践中, 制造商可通过商业保险策略降低因零部件质量问题造成的经济损失。然而, 商业保险购买成本较高且可能导致供应商轻视质量问题, 放弃质量改进。为此, 本文基于完全信息下单周期两级供应链的采购合约决策模型, 研究制造商如何利用商业保险管理供应链质量风险的问题。通过比较研究, 找出商业保险策略的实施条件, 并给出最优采购合约及商业保险策略。研究结果表明: (1) 当供应商的企业规模较小、抗风险能力较低时, 商业保险策略可完全消除风险承受能力对双方交易的制约, 促进双方达成交易; (2) 当供应商的企业规模较大、抗风险能力较高时, 制造商可利用商业保险策略降低零部件采购价格, 提高期望利润; (3) 在商业保险策略下, 制造商的最优商业保险策略是全额投保; (4) 商业保险的实施不一定造成零部件质量水平的下降。当质量成本或供应商的风险承受能力较低时, 商业保险策略与质量改进之间具有互补效应。当风险承受能力和质量成本均比较高时, 商业保险策略与质量改进之间具有替代效应。

关键词: 供应链质量风险管理; 商业保险; 质量改进; 风险规避; 采购合约

中图分类号: F722.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2019)01-0080-14

0 引言

为了获得更大的竞争优势, 越来越多的企业实施了非核心业务外包战略与供应链管理新模式。这种趋势使产品质量风险问题愈加突出^[1, 2]。Ford 汽车制造商曾指出, 公司 76% 的产品质量问题源于一级供应商^[3]。一旦缺陷零部件进入市场, 往往会给制造商带来巨额经济损失。2016 年, 因供应商提供的电池存在质量缺陷, 三星电子不得不在全球范围内召回近 250 万部 Galaxy Note 7 手机, 同时暂停该旗舰机在 10 个国家和地区的销售。专家估算这个召回成本约 10 亿美元。尽管借助法律手段或成本分担机制, 制造商可向供应商追责, 然而, 对抗风险能力不足的中小供应商而言, 高昂的赔偿责任往往无力承担。如 2003 年, 因

点火线圈存在质量缺陷, 大众汽车在美召回 50 万辆汽车, 总召回成本高达 8 300 万美元。然而, 为大众汽车提供点火线圈的德国供应商的年收益约 4 000 万美元^[4]。如此高昂的召回成本令这家供应商面临破产。

上述案例表明, 在供应链管理新模式及外包战略下, 零部件的质量水平及供应商的风险承受能力成为影响制造商产品质量风险大小的两个重要因素。其中, 零部件的质量水平影响质量风险事件发生的概率, 而供应商的风险承受能力往往决定了制造商在质量风险事件中所必须承担的经济损失。Chao 等^[5]曾指出, 实践中, 如果供应商的规模较小, 即使质量缺陷源于供应商, 但是迫于供应商的破产危机, 制造商不得不分担一部分召回成本。特别是, 供应商的抗风险能力越差, 制造商所分担

^① 收稿日期: 2017-06-25; 修订日期: 2018-05-21.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71272016; 71571114); 山东工商学院博士启动基金资助项目(BS201725).

通讯作者: 魏航(1976—), 男, 浙江绍兴人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: weihang@mail.shufe.edu.cn

的成本会越高.因此,如何控制中小供应商的质量水平、降低零部件质量问题造成的经济损失,已成为制造商十分关注的重要问题.

管理实践中,制造商可利用商业保险对产品质量风险进行对冲.几年前,英国一家零部件供应商为德国某汽车制造商新车供应的方向杆存在设计缺陷,该缺陷导致新车上市不久便被召回,总召回费用高达150万英镑.不过,由于这家供应商购买了召回保险,其实际承担的损失仅为原先预测可能支付费用的十分之一^②.在欧洲,一些整车制造商更要求供应商为其提供的零部件购买产品质量责任险、产品召回保险或产品保修保险等商业保险^[6].美国的一些汽车制造商,如GM,专门建立了一个保险池,旨在帮助供应商缓解保修成本造成的财务危机^[4].这类商业保险作为一种风险事后弥补的金融手段,通过补偿制造企业在质量风险事件发生时的经济损失提高企业的风险承受能力,达到风险规避的目的.

然而,必须指出的是,商业保险的购买成本较高,它是以牺牲现期利润为代价实现避险的.如果投保期内未发生质量问题,这笔保费将成为企业的沉没成本.这时,面对高昂的现期支付成本和小概率未来发生的巨额经济损失,企业应如何根据风险与收益的权衡购买商业保险规避质量风险成为理论及实践界亟待研究和解决的重要问题.此外,商业保险可将供应链质量风险转移给第三方金融机构,质量问题对供应商的不利影响得到了缓解.这种缓解作用可能导致供应商轻视质量问题的严重性,造成零部件质量水平的下降.那么,考虑到供应商的风险承受能力及质量改进行为,制造商应如何制定最优的商业保险策略控制供应商的质量选择行为,成为理论及实践亟待研究和解决的又一重要问题.

在现有运营领域的研究中,根据类型学的定义,现有文献中关于制造商管理供应商质量风险的策略可分为两类.第一类,风险事前防控策略,常见策略包括质量认证制度,质量检测机制,延期付款,质量投资,双源采购^[7-8].Chen等^[9]设计了一种质量投资合约以协调供应链的质量水平.Rui

和Lai^[10]分别研究了延期付款、质量投资和联合策略在应对供应商掺假行为时的作用.牛文举等^[11]研究了质量溢出效应如何影响制造商对供应商的质量投资行为.陈崇萍等^[12]研究了制造商考虑对供方进行缺陷改善投资的双源采购决策问题.温小琴和胡奇英^[13]研究了消费者质量意识水平和制造商工艺创新能力如何影响产品选择的问题.第二类,风险事后弥补策略.现有文献主要集中在利用成本分担合同将产品质量风险造成的经济损失在供应链成员之间进行转移,如Reyniers和Tapiero^[14]、Lim^[15]、Balachandran和Radhakrishnan^[16]、Zhu等^[1].李丽君等^[17]运用委托代理理论探讨了双边道德风险条件下供应商与销售商的质量控制策略问题.Chao等^[5]、刘学勇等^[18]借助上模博弈理论研究了关于产品召回根源分析成本的两种分担合同形式对制造商和供应商的质量改进努力水平决策以及供应链利润的影响.孙健慧等^[19]研究了三级装备制造业供应链质量管理的协调问题.

由上述分析可知,这些文献主要研究了运营手段在产品质量风险管控中的应用并以风险中性行为人为研究对象.Chen等^[20]研究了一个风险规避制造商如何利用商业保险规避质量风险的问题.基于此,本文以两级供应链为研究对象,以博弈及风险偏好理论为基础,通过构建零部件采购合约的决策模型,研究风险规避制造商如何利用商业保险控制供应商的质量选择.具体研究内容包括:(1)什么条件下制造商可以利用商业保险策略管理供应商引发的质量风险?最优商业保险策略如何制定?(2)商业保险策略是否影响零部件采购价格的制定及供应商的质量改进行为?如果影响,制造商的最优采购合约如何制定,供应商的质量水平又该如何选择?(2)市场参数如何影响最优商业保险策略制定?

1 基本问题

1.1 策略描述

设供应链由一个风险规避的零部件供应商和

② 案例来源: <http://www.shfinancialnews.com/xww/2009jrb/node5019/node5051/node5062/userobject1ai98465.html>

一个风险中性的产品制造商组成. 模型中, 制造商向供应商订购 Q 单位零部件, 单位采购价格为 w . 为了简化证明, 设 $Q = 1$. 供应商可生产两种质量水平的零部件, 记为 $\alpha_i, i = 0, 1$, 且 $\alpha_0 < \alpha_1$. 质量为 α_0 的零部件的单位生产成本为 0 , 质量为 α_1 的零部件的单位生产成本为 $M (> 0)$. 根据文献 [16], 零部件的质量水平表示的是零部件能够实现需求功能的概率. 因此, 零部件存在质量缺陷的概率为 $1 - \alpha_i$. 另设单位最终产品由单位零部件构成, 且最终产品的单位收益为 p . 一旦缺陷产品进入市场, 质量问题最终会被消费者发现, 并产生外部故障成本. Balachandran 和 Radhakrishnan^[16] 指出, 外部故障成本由直接成本和间接成本构成. 设直接成本为 p , 表示缺陷产品的单位更换成本. 间接成本包括因质量缺陷问题引发的品牌价值或市场价值的损失, 记为 f . 此外, 通过追责, 供应商需赔偿制造商 $w + \beta f$. 其中, β 为供应商的间接成本分担比例.

1) 无策略

当制造商未采取任何策略管理产品质量风险时, 他通过采购价格 w 控制供应商生产不同质量

水平的零部件以实现自身期望利润的最大化. 这时, 零部件的采购合约由采购价格构成, 记为采购合约 $\{w\}$. 其中, w 为制造商的决策变量(见图 1(1)).

2) 商业保险策略

用于应对产品质量风险的商业保险一般包括三个基本要素^[21]: 保险购买费 I , 免赔额 d 和赔付限额 L . 其中, 免赔额 d 表示供应商承担的损失额度, 责任限额 L 表示由金融机构承担的最高损失额度, 亦即供应商的投保额度. 根据文献 [22, 23], 保费表达式为 $I = \mu + \tau$. 其中, μ 为期望索赔额, τ 为金融机构的安全因子, 表示的是购买保险的交易成本. 根据文献 [24], 假设金融机构对外部故障的发生概率具有完全信息. 保险的赔偿机制为: 如果零部件缺陷引发的经济损失低于免赔额 d , 供应商不能从金融机构获得任何赔偿; 如果损失高于 d , 供应商可从金融机构获得经济赔偿, 且赔偿额度不超过 L . 此外, 商业保险策略的有效性要求 d 与 L 满足 $0 \leq d + L \leq w + \beta f$. 最终, 期望索赔额为 $\mu(d, L) = E[\min\{[w + \beta f - d]^+, L\}]$, 其中 $[w + \beta f - d]^+ = \max\{w + \beta f - d, 0\}$.

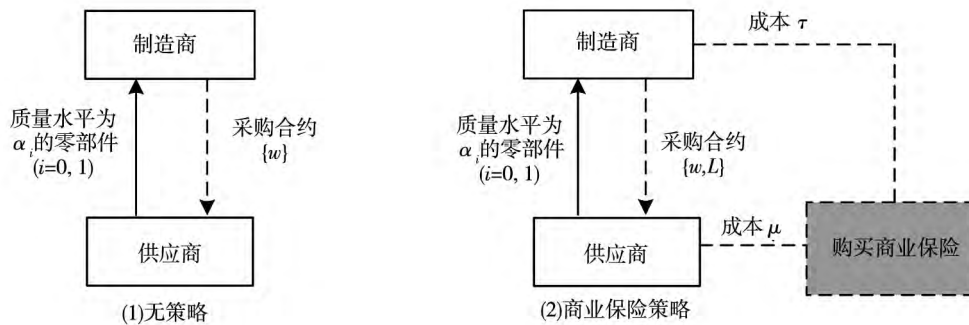


图 1 不同策略下的采购合约形式

Fig. 1 The procurement contract under different strategy

实践中, 制造商会在采购合约中给出保险公司的信用等级、投保额度、保单形式等细则, 并承担保费中的交易成本 τ , 而供应商承担保费中的期望索赔额 μ . 这时, 零部件的采购合约由采购价格和投保额度构成, 记为采购合约 $\{w, L\}$. 其中, w 和 L 为制造商的决策变量(见图 1(2)).

1.2 决策序列

设制造商为斯坦伯格领导者, 决策采购价格并选择是否采取商业保险策略管理质量风险. 供

应商作为追随者决策是否接受合约并选择零部件的质量水平. 如图 2 所示, 供应链的决策过程可描述为:

步骤 1 制造商制定采购价格 w 并选择以无策略或商业保险策略应对供应商引发的产品质量风险. 如果制造商选择商业保险策略, 他将在采购合约中要求供应商对零部件质量进行投保且投保额为 L . 其中, L 为制造商的决策变量.

步骤 2 供应商选择接受或拒绝合约. 如果

供应商接受合约,将决策零部件的质量水平并根据合约向金融机构购买保险.在商业保险策略下,制造商承担保费 τ ,而供应商承担保费 μ .

步骤 3 零部件交付,制造商接收零部件并支付采购价格 w .

步骤 4 最终产品以单位收益 p 交付至消费者.

步骤 5 产品发生外部故障,制造商承担成本 $p + f$,供应商赔付 $w + \beta f$.

步骤 6 在商业保险策略下,供应商向金融机构进行索赔.

1.3 风险测度方法

由于质量风险属于下方风险,且 CVaR 方法具有良好的数学性质^[25],因此,本文选用 CVaR 方法测度供应商的风险偏好程度.根据 Rockafellar 和 Uryasev^[26]的定义,供应商的 CVaR 值可表述为

$$CVaR_{\eta}(\pi_s(\alpha_i)) = \max_{v \in R} \left\{ v + \frac{1}{\eta} E_{\alpha} \times [\min(\pi_s(\alpha_i) - v, 0)] \right\} \quad i = 0, 1.$$

其中 $\eta \in (0, 1]$ 表示供应商的风险承受能力. η 越小,供应商的风险承受能力越低^[22].

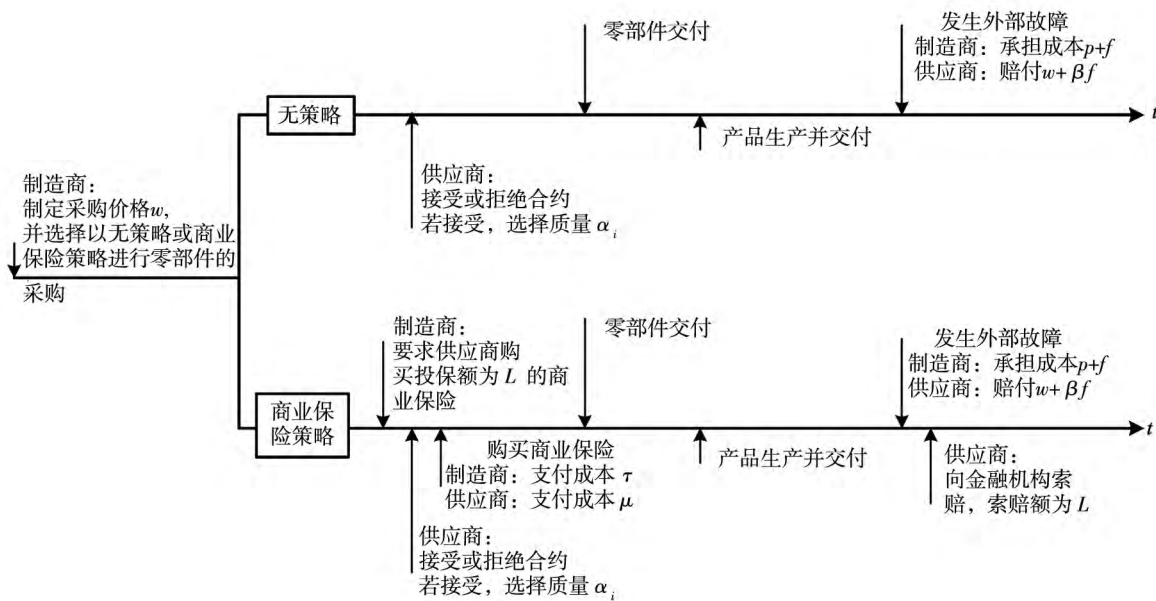


图 2 不同策略下的决策序列

Fig. 1 The decision sequence under different strategy

1.4 模型假设

为了保证无策略下有交易发生,系统参数需满足如下假设

假设 1 单位收益 p 满足: $p >$

$$\max \left\{ \frac{(1 - \alpha_i)(1 - \beta)f}{\alpha_i} + \frac{(1 - \alpha_i)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_i)} \right\} \quad i = 0, 1,$$

1. 该假设要求产品的单位收益足够高以保证无策略下双方有达成交易的可能性.

本文考虑供应商和制造商是理性行为人,他们的行为决策应满足如下假设

假设 2 制造商追求期望利润最大化.

假设 3 供应商追求 CVaR 值最大化.

2 无策略下的最优决策

2.1 决策目标

1) 供应商的决策目标

引理 1 令 $i = 0, 1$, 无策略下供应商的 CVaR 值为 1) 若 $0 < \eta \leq 1 - \alpha_i$, $CVaR_{\eta}(\pi_s(\alpha_i | w)) = -\beta f - iM$; 2) 若 $1 - \alpha_i < \eta < 1$, $CVaR_{\eta}(\pi_s(\alpha_i | w)) = w - iM - \frac{(1 - \alpha_i)(w + \beta f)}{\eta}$.

证明 不采取任何策略规避产品质量风险时,若供应商选择质量水平 α_i , 利润为

$\pi_s(\alpha_1 | w) =$

$$\begin{cases} w - M, & \text{概率为 } \alpha_1 \\ w - M - (w + \beta f), & \text{概率为 } 1 - \alpha_1 \end{cases}$$

令 $g(v) = v + \frac{1}{\eta} E_{\alpha} [\min(\pi_s(\alpha_1 | w) - v, 0)]$ 其中 $v \in R$. 当 $v \leq -\beta f - M$ 时, $g(v) = v$, $\frac{\partial g(v)}{\partial v} = 1 > 0$. $g(v)$ 是 v 的增函数. 同理, 当 $-\beta f - M \leq v \leq w - M$ 时, 如果 $\eta > 1 - \alpha_1$, $g(v)$ 是 v 的增函数, 如果 $\eta \leq 1 - \alpha_1$, $g(v)$ 是 v 的减函数. 当 $w - M \leq v$ 时, $g(v)$ 是 v 的减函数. 由此可知, 如果 $\eta \leq 1 - \alpha_1$, $g(v)$ 的最大值点为 $v^* = -\beta f - M$. 将 v^* 代入得 $CVaR_{\eta}(\pi_s(\alpha_1 | w)) = -\beta f - M$. 如果 $\eta > 1 - \alpha_1$, 最大值点为 $v^* = w - M$, $CVaR_{\eta}(\pi_s(\alpha_1 | w)) = w - M - \frac{(1 - \alpha_1)(w + \beta f)}{\eta}$.

同理可证其他情况. 证毕.

最终, 供应商的决策目标可表述为

$$\max_{\alpha_i \in \{\alpha_0, \alpha_1\}} CVaR_{\eta}(\pi_s(\alpha_i | w)) = \max_{\alpha_i \in \{\alpha_0, \alpha_1\}} \max_{v \in R} \left\{ v + \frac{1}{\eta} E_{\alpha} [\min(\pi_s(\alpha_i | w) - v, 0)] \right\}.$$

2) 制造商的决策目标

制造商在无策略下的期望利润为

$$E(\pi_m(w | \alpha_i)) = \alpha_i(p - w) - (1 - \alpha_i)(1 - \beta)f.$$

最终, 制造商的决策目标为

$$\begin{aligned} \max_{w \geq 0} & E(\pi_m(w | \alpha_i^*)) \\ \text{s. t.} & \begin{cases} CVaR_{\eta}(\pi_s(\alpha_i^* | w)) \geq 0 & (S - IR) \\ \alpha_i^* = \arg \max_{\alpha_i} CVaR_{\eta}(\pi_s(\alpha_i | w)) & (S - IC) \\ E(\pi_m(w | \alpha_i^*)) > 0 & (M - IR) \end{cases} \end{aligned}$$

其中约束条件 (S - IR) 为供应商的参与约束, (S - IC) 为供应商的激励相容约束, (M - IR) 为制造商的参与约束.

2.2 最优决策

定理 1 无策略下制造商与供应商的最优决策分别为

1) 当供应商的风险承受能力 $0 < \eta \leq 1 - \alpha_1$ 时, 无交易发生; 2) 当供应商的风险承受能力 $1 - \alpha_1 < \eta \leq 1 - \alpha_0$ 时, 若质量成本 $M < M_1$, 制造商最优采购价格为 $w_1 = \frac{\eta M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)}$. 在该合

约下, 供应商选择质量 α_1 . 否则, 无交易发生. 3)

当供应商的风险承受能力 $1 - \alpha_0 < \eta < 1$ 时, 若质量成本 $M < M_2$, 制造商的最优采购价格为 $w_1 =$

$$\frac{\eta M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)}.$$

在该合约下, 供应商选择质量 α_1 . 若 $M \geq M_2$, 制造商的最优采购价格为 $w_2 = \frac{(1 - \alpha_0)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_0)}$. 在该合约下, 供应商选择质量 α_0 .

$$\text{其中 } M_1 = \frac{\eta - (1 - \alpha_1)}{\alpha_1 \eta} [\alpha_1 p - \frac{\alpha_1(1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)} - (1 - \alpha_1)(1 - \beta)f], M_2 = \frac{\eta - (1 - \alpha_1)}{\eta} [\frac{(1 - \alpha_0)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_0)} - \frac{(1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)}].$$

证明 若 $1 - \alpha_0 < \eta < 1$, 控制供应商选择质量 α_1 的最优采购价格可由如下目标函数给出

$$\max_w E(\pi_m(w | \alpha_1)) = \alpha_1(p - w) - (1 - \alpha_1)(1 - \beta)f$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} w \geq \frac{\eta M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)} & (S - IR) \\ w > \frac{\eta M - (\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_1 - \alpha_0} & (S - IC) \\ w < \frac{\alpha_1 p - (1 - \alpha_1)(1 - \beta)f}{\alpha_1} & (S - IR) \end{cases}$$

这时, 若 $M < \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_0)}$, 可得

$$\begin{aligned} \frac{\eta M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)} - \frac{\eta M - (\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_1 - \alpha_0} &= \\ \frac{\eta(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f - [\eta - (1 - \alpha_0)]\eta M}{[\eta - (1 - \alpha_1)][\alpha_1 - \alpha_0]} &> 0, \\ \frac{\eta M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)} - \frac{(1 - \alpha_0)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_0)} &= \\ \frac{[\eta - (1 - \alpha_0)]\eta M - \eta(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{[\eta - (1 - \alpha_1)][\eta - (1 - \alpha_0)]} &< 0, \\ \frac{\alpha_1 p - (1 - \alpha_1)(1 - \beta)f}{\alpha_1} - \frac{\eta M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)} &= \\ \alpha_0 \left[p - \frac{(1 - \alpha_0)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_0)} \right] - (1 - \alpha_0)(1 - \beta)f &> 0. \end{aligned}$$

可见, 约束条件无冲突. 由 $E(\pi_m(w | \alpha_1))$ 是价格的

减函数可得最优价格为 $w_1 = \frac{\eta M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)}$. 若

$$M \geq \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_0)}, \text{ 如果 } w = \frac{\eta M - (\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{(\alpha_1 - \alpha_0)},$$

有 $E(\pi_s(\alpha_0|w)) - E(\pi_s(\alpha_1|w)) = M - \eta M > 0$ 且 $CVaR_\eta(\pi_s(\alpha_0|w)) = CVaR_\eta(\pi_s(\alpha_1|w))$. 最终, 供应商的最优反应是选择 α_0 . 若 $w = \frac{\eta M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)}$, 则 $CVaR_\eta(\pi_s(\alpha_0|w)) \geq 0$ 而 $CVaR_\eta(\pi_s(\alpha_1|w)) = 0$. 供应商的最优反应为选择 α_0 . 可见, 当 $M \geq \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_0)}$ 时, 供应商的占优选择为质量水平 α_0 而非 α_1 .

同理可证当 $w \leq \frac{\eta M - (\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_1 - \alpha_0}$ 时的最优采购价格. 证毕.

定理 1 的内容由图 3 给出. 由图可见, 供应商的风险承受能力和零部件质量水平作为衡量产品质量风险大小的两个重要因素将供应链的交易过程分成了三种情况.

1) 如果供应商的风险承受能力非常低, 即 $0 < \eta \leq 1 - \alpha_1$ (见图 3(1)), 无交易发生. 也就是说, 对于那些规模非常小的供应商而言, 较差的抗风险能力导致企业无法承担质量风险事件引发的赔偿责任. 一旦发生质量风险事件, 高昂的经济赔偿使供应商面临破产. 对制造商来说, 供应商的破产机会加剧企业面对的产品质量风险. 在这种情况下, 双方都不应进行交易.

2) 如果供应商的风险承受能力位于中间水平, 即 $1 - \alpha_1 < \eta \leq 1 - \alpha_0$ (见图 3(2)), 双方只在质量成本较低 (即 $M < M_1$) 时以高质量的零部件达成交易. 否则, 无交易发生. 该结果说明,

对于中等规模的供应商而言, 其风险承受能力还不足以应对低质量水平 α_0 带来的风险. 但是, 如果对零部件进行质量改进, 潜在的质量风险能够下降到供应商的承受范围内. 这时, 制造商应利用采购价格控制供应商生产高质量的零部件. 这个最优采购价格为 w_1 , 它由质量成本的加成 $\frac{\eta M}{\eta - (1 - \alpha_1)}$ 和供应商承担的期望经济损失的加成 $\frac{(1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)}$ 两部分构成.

对最优采购价格进行分析可知, 供应商的风险承受能力是通过采购价格影响制造商面对的质量风险的. 当供应商的风险承受能力下降时, 质量风险造成的赔偿责任对供应商的影响愈加严重, 供应商期望经济损失的加成比例不断上升. 此外, 风险承受能力的下降也提高了质量成本的加成比例. 最终, 采购价格随 η 的下降而上升. 这说明, 当供应商的风险承受能力变差时, 制造商必须以更高的采购价格帮助供应商分担更多的经济损失, 以避免供应商面临破产危机. 事实上, 这个问题也可理解为, 供应商的风险承受能力越低, 制造商为购买供应商在未来期所履行的赔偿责任必须付出更高的成本.

此外, 需要指出的是, 尽管质量改进可降低风险, 然而, 如果质量成本较高 (即 $M_1 < M$) 制造商为获得高质量的零部件必须支付较高的采购价格. 这时, 质量改进的收益无法弥补采购价格上升造成的损失. 最终, 质量改进失效, 双方无法达成交易.

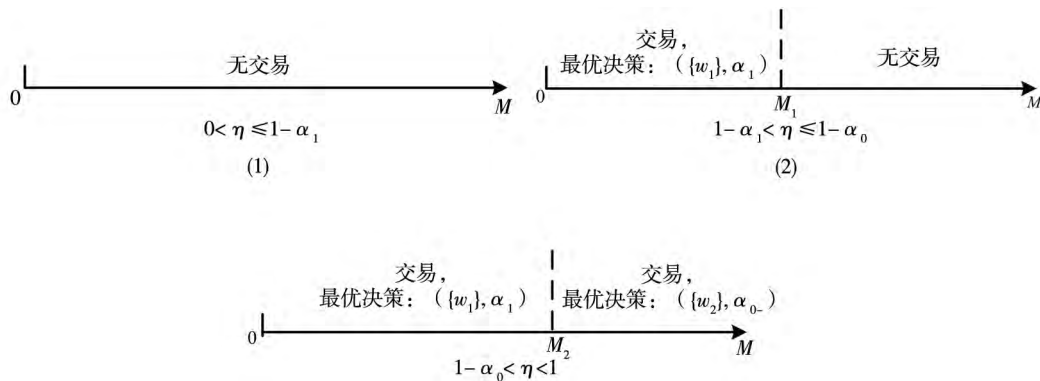


图 3 无策略下的最优决策

Fig. 3 The optimal decision in non-strategy case

3) 如果供应商的风险承受能力较高, 即 $1 - \alpha_0 < \eta < 1$ (见图 3(3)), 双方在质量成本较低

(即 $M < M_2$) 时以高质量的零部件进行交易, 在质量成本较高 (即 $M \geq M_2$) 时以低质量的零部件

进行交易. 该结果说明, 对于企业规模较大的供应商而言, 较高的风险承受能力使其能够应对低质量水平 α_0 带来的风险. 这时, 采购价格的主要作用是控制供应商的质量决策以确保制造商的期望利润最大化. 由定理 1 可知, 激励供应商以质量水平 α_1 参与交易的采购价格为 w_1 , 激励供应商以质量水平 α_0 参与交易的采购价格为 w_2 . 其中, w_2 由供应商在低质量水平下的期望经济损失加成 $\frac{(1 - \alpha_0)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_0)}$ 构成.

由图 3(3) 可知, 质量成本成为制造商激励供应商进行质量改进的关键因素. 质量成本越高, 制造商为了激励供应商进行质量改进必须支付更高的采购价格 (即采购价格 w_1 越高). 特别是, 当质量成本超过 M_2 (即 $M \geq M_2$) 时, 较高的采购价格使质量改进带来的收益远低于为了激励质量改进而支付的成本, 最终导致制造商的期望利润下降. 因此, 当质量成本较高时, 制造商应控制供应商生产低质量的零部件.

3 商业保险策略下的最优决策

3.1 决策目标

1) 供应商的决策目标

引理 2 令 $i = 0, 1$, 商业保险策略下供应商的 CVaR 值为 (1) 若 $0 < \eta \leq (1 - \alpha_i)$, $CVaR_\eta(\pi_s(\alpha_i | w, L)) = -\beta f - I + L - iM$; (2) 若 $(1 - \alpha_i) < \eta < 1$, $CVaR_\eta(\pi_s(\alpha_i | w, L)) = w - I - \frac{(1 - \alpha_i)(w + \beta f - L)}{\eta} - iM$.

证明 证明过程与引理 1 类似, 故略.

最终, 供应商的决策目标可表述为

$$\max_{\alpha_i \in \{\alpha_0, \alpha_1\}} CVaR_\eta(\pi_s(\alpha_i | w, L)) = \max_{\alpha_i \in \{\alpha_0, \alpha_1\}} \left\{ v + \frac{1}{\eta} E_\alpha[\min(\pi_s(\alpha_i | w, L) - v, 0)] \right\}$$

2) 制造商的决策目标

商业保险策略下, 制造商的期望利润为 $E(\pi_m(w, L | \alpha_i)) = \alpha_i(p - w) - (1 - \alpha_i) \times (1 - \beta)f - \tau$, $i = 1, 0$.

因此, 制造商的决策目标为

$$\max_{w \geq 0, w + \beta f \geq L \geq 0} E(\pi_m(w, L | \alpha_i^*))$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} CVaR_\eta(\pi_s(\alpha_i^* | w, L)) \geq 0 & (S - IR) \\ \alpha_i^* = \arg \max_{\alpha_i} CVaR_\eta(\pi_s(\alpha_i | w, L)) \\ E(\pi_m(w, L | \alpha_i^*)) \geq 0 & (M - IR) \end{cases}$$

3.2 最优决策

定理 2 商业保险策略下制造商与供应商的最优决策分别为

当供应商的风险承受能力 $0 < \eta < 1$ 时, 若质量成本和保险成本满足 $M < M_3$ 且 $\tau < \Lambda_1(M)$, 制造商的最优采购价格为 $w_3 = \frac{M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\alpha_1}$,

最优投保额度为 $L_1 = w_3 + \beta f$. 在该合约下, 供应商选择质量 α_1 . 若质量成本和保险成本满足 $M \geq M_3$ 且 $\tau < \tau_2$, 制造商的最优采购价格为 $w_4 = \frac{(1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_0}$, 最优投保额度为 $L_2 = w_4 + \beta f$.

在该合约下, 供应商选择质量 α_0 . 否则, 无交易发生. 其中, 曲线 $\Lambda_1(M) = \tau_1 - M$, $\tau_1 = \alpha_1 p - (1 - \alpha_1)f$, $\tau_2 = \alpha_0 p - (1 - \alpha_0)f$, $M_3 = \alpha_1 \left[\frac{(1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_0} - \frac{(1 - \alpha_1)\beta f}{\alpha_1} \right]$.

证明 1) 若 $0 < \eta \leq 1 - \alpha_1$, 给定采购价格 w 和投保额度 L , 只有当 $L > \frac{M}{(\alpha_1 - \alpha_0)}$ 时, 供应商选择 α_1 优于选择 α_0 . 反之, $L \leq \frac{M}{(\alpha_1 - \alpha_0)}$ 时, 供应商选择 α_0 优于选择 α_1 .

分类讨论:

a. 当 $M \leq \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_0}$ 时, 供应商选择 α_1 的

最优采购价格可由如下目标函数给出

$$\begin{aligned} \max_w E(\pi_m(w | \alpha_1, L)) &= \alpha_1(p - w) - (1 - \alpha_1)(1 - \beta)f - \tau \\ \text{s. t. } \begin{cases} w + \beta f \geq L > \frac{M}{(\alpha_1 - \alpha_0)} & (S - IR) \\ w \geq \frac{M - (\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{(\alpha_1 - \alpha_0)} & (S - IR) \\ L \geq \frac{M + \beta f}{\alpha_1} & (S - IC) \end{cases} \end{aligned}$$

当 $M \leq \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_0}$ 时, 可得 $\frac{M + \beta f}{\alpha_1}$

$$\frac{M}{\alpha_1 - \alpha_0} = \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f - \alpha_0 M}{\alpha_1(\alpha_1 - \alpha_0)} \geq 0,$$

$$\frac{M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\alpha_1} - \frac{M - (\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{(\alpha_1 - \alpha_0)} =$$

$$\frac{(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f - \alpha_0 M}{\alpha_1(\alpha_1 - \alpha_0)} \geq 0. \text{ 因此 约束条件变为}$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} w + \beta f \geq L \geq \frac{M + \beta f}{\alpha_1}, \\ w \geq \frac{M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\alpha_1}. \end{cases}$$

给定 $L, E(\pi_m(w | \alpha_1, L))$ 仅与 w 负相关. 因此, 最优价格应为 $w_3 = \frac{M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\alpha_1}$. 这时, $w_3 + \beta f = \frac{M + \beta f}{\alpha_1}$. L 只有唯一值 $L^* = w_3 + \beta f = \frac{M + \beta f}{\alpha_1}$.

同理, 若 $w \geq \frac{M - (\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_1 - \alpha_0}$ 且 $0 \leq L \leq \frac{M}{\alpha_1 - \alpha_0}$, 只有 $M = \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_0}$, 决策目标有解且最优解为 $w^* = \frac{M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\alpha_1} = w_3, L^* = \frac{\beta f}{\alpha_0} = w^* + \beta f$. 若 $w \leq \frac{M - (\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_1 - \alpha_0}$, 只有 $M = \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_0}$, 决策目标有解且最优解为 $w^* = \frac{M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\alpha_1} = w_5, L^* = \frac{\beta f}{\alpha_0} = w^* + \beta f$.

最终, 不考虑制造商参与约束时, 当 $M \leq \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_0}$ 时, 制造商的最优决策为 $w_3 = \frac{M + (1 - \alpha_1)\beta f}{\alpha_1}, L_1 = w_5 + \beta f = \frac{M + \beta f}{\alpha_1}$, 最优期望利润为 $E(\pi_m(w_5, L_1 | \alpha_1)) = \alpha_1 p - (1 - \alpha_1)f - M - \tau$. 因而, 若 $M \leq \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_0}$ 且 $M + \tau < \alpha_1 p - (1 - \alpha_1)f$, 制造商有最优决策 (w_3, L_1) .

b. 同理可证. 证毕.

定理 2 的内容由图 4 给出. 与无策略不同, 在商业保险策略下, 供应商的风险承受能力不再是制约双方进行交易的关键因素. 这是因为, 商业保

险直接作用于风险事件带来的经济损失. 供应商利用商业保险可将自己承担的赔偿责任部分或全部转移至第三方金融机构, 从而缓解或消除利润的下方波动. 特别是, 由定理 2 可知, 最优保险策略是全额投保 (即 $L_i = w_j + \beta f$, 其中 $i = 1, 2, j = 3, 4$). 也就是说, 在最优商业保险策略下, 金融机构将承担供应商全部的赔偿责任, 这相当于提高了供应商的风险承受能力. 因此, 商业保险策略下的最优决策与 η 无关 (见图 4).

当风险承受能力不再影响最优决策时, 采购价格主要被用来控制供应商的质量决策以确保制造商的期望利润最大化. 由定理 2 可知, 在全额投保的策略下, 激励供应商以质量水平 α_1 参与交易的采购价格为 w_3 , 激励供应商以质量水平 α_0 参与交易的采购价格为 w_4 . 其中, w_3 由质量成本加成 $\frac{M}{\alpha_1}$ 和供应商承担的期望经济损失的加成 $\frac{(1 - \alpha_1)\beta f}{\alpha_1}$ 两部分组成, w_4 由供应商承担的期望经济损失的加成 $\frac{(1 - \alpha_0)\beta f}{\alpha_0}$ 组成. 由于全额投保的保险策略消除了风险承受能力的制约, 因此, 商业保险策略下的采购价格与 η 无关.

需要指出的是, 尽管全额投保的保险策略降低了供应商的质量成本及期望经济损失的加成, 使制造商的期望利润得到改善. 然而, 商业保险策略的购买成本会负向影响制造商的期望利润. 这时, 制造商在商业保险策略下能否获得正期望利润并参与交易, 取决于该策略的成本与自身的盈利水平. 由图 4 可知, 在价格 w_4 和质量 α_0 下, 只有保险成本低于 τ_2 (即 $\tau < \tau_2$) 时, 制造商可获得正期望利润并参与交易. 在价格 w_3 和质量 α_1 下, 只有保险策略的购买成本低于 $\Lambda_1(M)$, 即 $\tau < \Lambda_1(M)$, 制造商可获得正期望利润并参与交易. 此外, 这个使制造商参与交易与不参与交易无差异的成本 $\Lambda_1(M)$ 随 M 的下降而上升. 这是因为, 质量成本的下降降低了零部件的采购价格, 提高了制造商的盈利水平, 使制造商能够负担更高的保险购买成本.

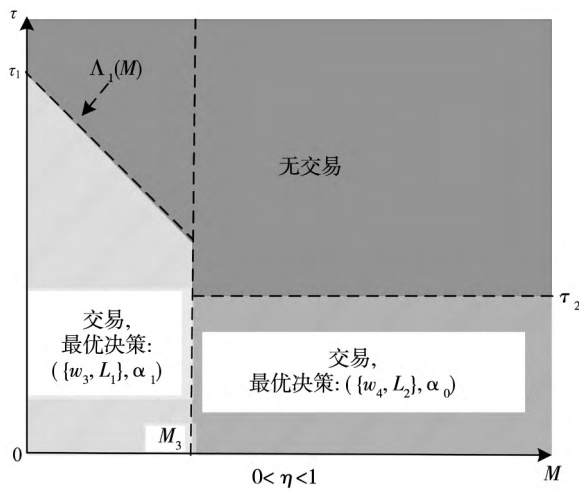


图4 商业保险策略下的最优决策

Fig. 4 The optimal decision in Business insurance strategy case

由上述分析可对商业保险策略的避险机理进行总结: (1) 当供应商的企业规模较小、抗风险能力较低时, 商业保险策略可促进双方达成交易. 这是因为, 商业保险策略通过弥补风险事件发生后的经济损失使供应商的风险承受能力得到提高. 特别是, 在全额投保的保险策略下, 金融机构承担起供应商的全部赔偿责任, 这完全消除了风险承

受能力对双方交易的制约. (2) 当供应商的企业规模较大、抗风险能力较高时, 商业保险策略通过弥补风险事件造成的经济损失, 提高制造商的期望利润. 由前文可知, 商业保险策略降低质量风险的途径主要是: 消除供应商的风险承受能力的制约, 进而降低供应商的质量成本及期望经济损失的加成, 最终使制造商以较低采购价格激励供应商参与交易.

3.3 与无策略的比较

推论1 商业保险策略与无策略的比较结果见表1. 其中, η_1 满足

$$\frac{\eta_1 - (1 - \alpha_1)}{\alpha_1 \eta_1} \left[\alpha_1 p - \frac{\alpha_1 (1 - \alpha_1) \beta f}{\eta_1 - (1 - \alpha_1)} - (1 - \alpha_1) (1 - \beta) f \right] = M_3,$$

$$\Lambda_2(M) = \frac{(1 - \alpha_1) (1 - \eta)}{\eta - (1 - \alpha_1)} M + \tau_3, \Lambda_3(M) = \frac{\alpha_1 \eta}{\eta - (1 - \alpha_1)} M + \tau_4, \tau_3 = \frac{(1 - \alpha_1) (1 - \eta) \beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)},$$

$$\tau_4 = \left[\frac{\alpha_1 (1 - \alpha_1)}{\eta - (1 - \alpha_1)} - (1 - \alpha_0) \right] \beta f - (\alpha_1 - \alpha_0) p - (\alpha_1 - \alpha_0) (1 - \beta) f, \tau_5 = \frac{(1 - \alpha_0) (1 - \eta) \beta f}{\eta - (1 - \alpha_0)}.$$

表1 商业保险策略与无策略的比较

Table 1 A comparison between two cases

风险承受能力	质量成本与保险成本	占优策略
$0 < \eta \leq 1 - \alpha_1$	$\tau < \Lambda_1(M)$ 且 $M < M_3$	$(\{w_3, L_1\}, \alpha_1)$
	$\tau < \tau_2$ 且 $M_3 \leq M$	$(\{w_4, L_2\}, \alpha_0)$
$1 - \alpha_1 < \eta \leq \min\{\eta_1, 1 - \alpha_0\}$	$\tau < \Lambda_2(M)$ 且 $M < M_1$	$(\{w_3, L_1\}, \alpha_1)$
	或 $\tau < \Lambda_1(M)$ 且 $M_1 < M < M_3$	$(\{w_1\}, \alpha_1)$
	$\tau > \Lambda_2(M)$ 且 $M < M_1$	$(\{w_4, L_2\}, \alpha_0)$
$\eta_1 < \eta \leq 1 - \alpha_0$	$\tau < \tau_2$ 且 $M_3 \leq M$	$(\{w_4, L_2\}, \alpha_0)$
	$\tau < \Lambda_2(M)$ 且 $M < M_3$	$(\{w_3, L_1\}, \alpha_1)$
	$\tau \geq \Lambda_2(M)$ 且 $M < M_3$	$(\{w_1\}, \alpha_1)$
	或 $\tau \geq \Lambda_3(M)$ 且 $M_3 \leq M < M_1$	$(\{w_4, L_2\}, \alpha_0)$
$1 - \alpha_0 < \eta < 1$	$\tau < \tau_2$ 且 $M_3 \leq M$	$(\{w_4, L_2\}, \alpha_0)$
	$\tau < \Lambda_3(M)$ 且 $M_3 \leq M < M_1$	$(\{w_4, L_2\}, \alpha_0)$
	或 $\tau < \Lambda_2(M)$ 且 $M < M_3$	$(\{w_3, L_1\}, \alpha_1)$
	$\tau \geq \Lambda_2(M)$ 且 $M < M_3$	$(\{w_1\}, \alpha_1)$
	或 $\tau \geq \Lambda_3(M)$ 且 $M_3 \leq M < M_2$	$(\{w_4, L_2\}, \alpha_0)$
	$\tau < \Lambda_3(M)$ 且 $M_3 \leq M < M_2$	$(\{w_4, L_2\}, \alpha_0)$
	或 $\tau < \tau_5$ 且 $M_2 \leq M$	$(\{w_4, L_2\}, \alpha_0)$
	$\tau \geq \tau_5$ 且 $M_2 \leq M$	$(\{w_2\}, \alpha_0)$

证明 令 $i = 1, 2, 3, 4, j = 1, 2, 3, 4, 5$, 可证 M_i 及 τ_j 有如下性质: 1) 当 $0 < \eta < 1$ 时, $M_3 < \tau_1, \tau_2 + M_3 < \tau_1, \tau_2 < \tau_1, \tau_3 < \tau_1$; 2) 当 $1 - \alpha_1 < \eta \leq \min\{\eta_1, 1 - \alpha_0\}$ 时, $M_1 \leq M_3, \tau_1 - M_1 = \tau_3 + \frac{(1 - \alpha_1)(1 - \eta)}{\eta - (1 - \alpha_1)} M_1$. 3) 当 $\eta_1 < \eta \leq 1 - \alpha_0$ 时, $M_3 < M_1, \tau_3 + \frac{(1 - \alpha_1)(1 - \eta)}{\eta - (1 - \alpha_1)} M_3 < \tau_1 - M_3, \tau_2 - \frac{\alpha_1 \eta}{\eta - (1 - \alpha_1)} M_1 = \tau_4$; 4) 当 $1 - \alpha_0 < \eta$ 时, $M_3 < M_2, \tau_3 + \frac{(1 - \alpha_1)(1 - \eta)}{\eta - (1 - \alpha_1)} M_3 < \tau_1, \tau_3 < \tau_5 < \tau_2, \frac{\alpha_1 \eta}{\eta - (1 - \alpha_1)} M_2 + \tau_4 < \tau_2, \frac{\alpha_1 \eta}{\eta - (1 - \alpha_1)} M_2 + \tau_4 < \tau_5$.

首先, 证明 1) 中的性质. 当 $0 < \eta < 1$ 时, 可得 $\tau_1 - M_3 > \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)(1 - \beta)f}{\alpha_0} > 0, \tau_2 + M_3 - \tau_1 < (\alpha_1 - \alpha_0)\beta f - (\alpha_1 - \alpha_0)\beta f - (\alpha_1 - \alpha_0)(1 - \beta)f < 0, \tau_1 - \tau_2 = (\alpha_1 - \alpha_0)p + (\alpha_1 - \alpha_0)\beta f > 0, \tau_1 - \tau_3 = \alpha_1 p - \frac{\alpha_1(1 - \alpha_1)\beta f}{\eta - (1 - \alpha_1)} - (1 - \alpha_1)(1 - \beta)f > 0$.

同理可证 2) 3) 和 4) 中的性质.

之后, 将商业保险策略与无策略下的期望利润进行比较找出占优策略.

(1) 当 $1 - \alpha_1 < \eta \leq 1 - \alpha_0$ 且 $M_1 \leq M_3$ 时, 如果 $M \leq M_1, E(\pi_m(w_3, L_1 | \alpha_1)) - E(\pi_m(w_1 | \alpha_1)) = \frac{(1 - \alpha_1)(1 - \eta)}{\eta - (1 - \alpha_1)}(M + \beta f) - \tau$. 因此, 只有 $\tau - \frac{(1 - \alpha_1)(1 - \eta)}{\eta - (1 - \alpha_1)} M < \tau_3$, 占优策略为 (w_3, L_1, α_1) . 否则, 占优策略为 (w_1, α_0) .

同理可证其他结论. 证毕.

推论 1 的结果由图 5 给出. 如果供应商的风险承受能力非常低, 即 $0 < \eta \leq 1 - \alpha_1$, 在无策略下, 双方不能进行交易. 在商业保险策略下, 双方通过全额投保达成交易. 可见, 当供应商的企业规模较小、抗风险能力不足时, 利用商业保险管理供应商引发的质量风险是一种有效策略(见图 5

(1)).

如果供应商的风险承受能力位于中间水平, 即 $1 - \alpha_1 < \eta \leq 1 - \alpha_0$, 商业保险策略与无策略的比较结果被细分为两种情况, 见图 5(2-1) 和图 5(2-2). 由图 5(2-1) 和图 5(2-2) 可知, 当供应商为中等规模的企业时, (1) 如果质量成本及保险购买成本均较低, 即图 5(2-1) 中 $M < M_1$ 且 $\tau < \Lambda_2(M)$ 或图 5(2-2) 中 $M < M_3$ 且 $\tau < \Lambda_2(M)$, 制造商以商业保险策略采购高质量的零部件要优于以无策略采购高质量的零部件. 这是因为, 较低的质量成本保证了制造商可以较低的采购价格购买高质量的零部件. 这时, 制造商利用商业保险策略可进一步降低零部件的采购价格. 与无策略相比较, 如果保险的购买成本足够低(即 $\tau < \Lambda_2(M)$), 商业保险策略为制造商带来的收益将高于保险的购买成本. 因此, 实施商业保险策略要优于无策略. 相反, 无策略更优. 此外, 这个使制造商在无策略下与商业保险策略下无差异的曲线 $\Lambda_2(M)$ 是 M 单调递增函数. 即, 随着质量成本的上升, 商业保险策略的占优区域变大. 这是因为, 商业保险策略能够消除风险承受能力对采购价格的影响, 进而降低质量成本的加成比例. 特别是, 随着质量成本的上升, 商业保险策略对质量成本加成比例的这种影响越加凸显. (2) 如果质量成本较高但保险成本足够低, 即图 5(2-1) 中 $M_1 < M$ 且 $\tau < \Lambda_1(M)$ 及 $M_3 < M$ 且 $\tau < \tau_2$ 或图 5(2-2) 中 $M_1 < M$ 且 $\tau < \tau_2$, 实施商业保险策略更优. 由定理 1 可知, 在无策略下, 当质量成本超过 M_1 时, 双方不会达成交易. 但是, 只要保险成本足够低(即 $\tau < \Lambda_1(M)$ 或 $\tau < \tau_2$), 商业保险策略可帮助双方以高质量的零部件达成交易.

如果供应商的风险承受能力较高, 即 $1 - \alpha_0 < \eta < 1$, 商业保险策略占优于无策略的区域见图 5(3). 由图 5(3) 可知, 当供应商的企业规模较大、抗风险能力较高时, (1) 如果质量成本及保险的购买成本均较低(即 $M < M_3$ 且 $\tau < \Lambda_2(M)$), 制造商以商业保险策略采购高质量的零部件要优于以无策略采购高质量的零部件. (2) 当质量成本位于中间区域而保险购买成本足够低

(即 $M_3 < M \leq M_2$ 且 $\tau < \Lambda_3(M)$) 时, 制造商利用商业保险策略采购低质量的零部件将优于制造商以无策略采购高质量的零部件. 否则, 制造商以无策略采购高质量的零部件更优. 这说明, 当质量成本较高而保险购买成本较低时, 利用更具成本优势的商业保险策略替代质量改进, 可以更好地帮助制造商节约成本提高期望利润. 特别是, 随着质量成本的提高, 商业保险策略的成本优势越显著, 商业保险策略对质量改进的这种替代作用越强.

因此, 商业保险策略的占优区域随质量成本的提高而扩大, 即 $\Lambda_3(M)$ 是 M 的单调递增函数. (3) 当质量成本非常高而保险购买成本足够低 (即 $M_2 < M$ 且 $\tau < \tau_5$) 时, 制造商利用商业保险策略采购低质量的零部件将优于制造商以无策略采购低质量的零部件. 这是因为, 当质量成本非常高时, 制造商的最优选择是采购低质量的零部件. 与无策略不同的是, 商业保险策略可帮助制造商以较低的采购价格购买零部件.

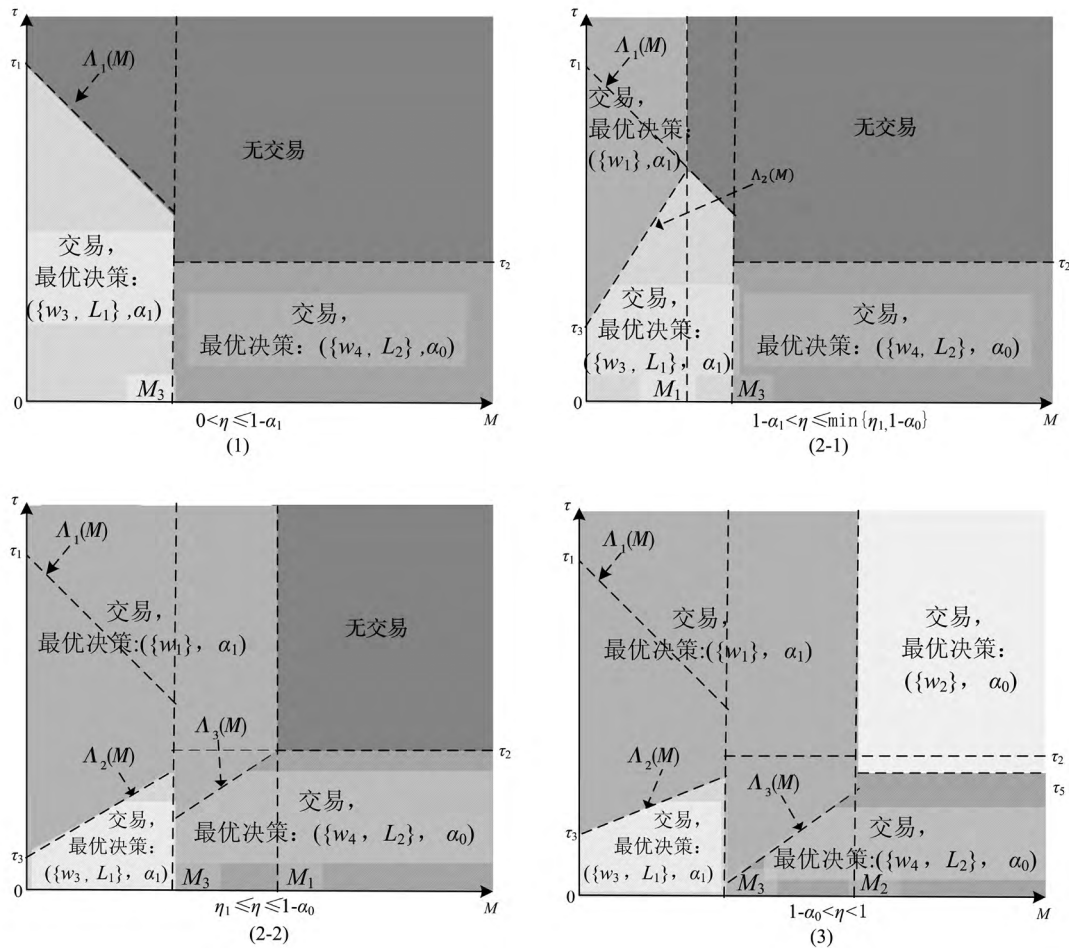


图5 商业保险策略与无策略的比较

Fig. 5 A comparison between two cases

由上述分析可以发现, 商业保险策略的实施不一定造成零部件质量水平的下降: (1) 当质量成本和保险购买成本非常低 (如图 5(2-1) 中 $M < M_1$ 且 $\tau < \Lambda_2(M)$ 的区域) 时, 商业保险策略与质量改进之间具有互补效应. 正是利用这种互补效应, 制造商能够在高质量水平下获得比无策略下更高的期望利润. (2) 当供应商的风险承受

能力较低、质量成本位于中等水平而商业保险购买成本足够低时, 商业保险策略与质量改进之间的互补效应可大幅降低质量风险, 帮助供应商和制造商转变运营决策, 从原来的不参与交易转变为参与交易, 见图 5(2-1) 中 $M_1 < M < M_3$ 且 $\tau < \Lambda_1(M)$. (3) 只有当供应商的风险承受能力与质量成本均较高时, 更具成本优势的商业保险

策略才会对质量改进产生替代作用,见图 5(2-2)中 $M_3 < M \leq M_1$ 且 $\tau < \Lambda_3(M)$ 和图 5(3)中 $M_3 < M \leq M_2$ 且 $\tau < \Lambda_3(M)$ 的区域。

4 结束语

本文以单周期零部件采购合约的决策模型为基础,借助 CVaR 风险测度方法,研究制造商如何利用商业保险管理供应链质量风险的问题。

研究结果表明:(1)当供应商的企业规模较小、抗风险能力较低时,商业保险策略可完全消除风险承受能力对双方交易的制约,促进双方达成交易;(2)当供应商的企业规模较大、抗风险能力较高时,制造商可利用商业保险策略降低零部件采购价格,提高期望利润;(3)在商业保险策略下,制造商的最优商业保险策略是全额投保;(4)商业保险的实施不一定造成零部件质量水平的下降。当质量成本或供应商的风险承受能力较低时,商业保险策略与质量改进之间具有互补效应。当风险承受能力和质量成本均比较高时,商业保险策略与质量改进之间具有替代效应。

本研究对制造商如何更好地管理由供应商引发的产品质量风险具有如下启示:

(1)商业保险策略可有效解决供应商抗风险能力不足的问题。当供应商的风险承受能力非常低时,由于无力承担质量缺陷造成的赔偿责任,供应商和制造商面对的产品质量风险变得非常严

重。但是,利用保险策略,供应商在风险事件发生后的经济损失得到弥补。这相当于提高了供应商的风险承受能力。特别是,制造商的最优保险策略应是全额投保。在全额保险策略下,供应商承担的赔偿责任可全部转移至第三方金融机构。通过这种商业保险策略,风险承受能力不再是约束双方进行交易的关键因素。因此,当供应商的抗风险能力较弱时,制造商应积极借助第三方金融机构分担质量风险,促进双方达成交易。

(2)商业保险策略的实施不一定造成零部件质量水平的下降。当质量成本和保险购买成本非常低时,商业保险策略与质量改进之间具有互补效应。正是利用这种互补效应,制造商能够在高质量水平下获得比无策略下更高的期望利润。如果供应商的风险承受能力较低且商业保险购买成本足够低,商业保险策略与质量改进之间的互补效应可降低质量风险,帮助供应商和制造商转变运营决策,从原来的不参与交易转变为参与交易。只有当供应商的风险承受能力与质量成本均较高时,更具成本优势的商业保险策略才会对质量改进产生替代作用。

本文在研究中仅考虑了单周期零部件采购合约及商业保险购买决策模型,在后续研究中可考虑具有质量信息更新的多周期采购价格的制定及商业保险策略的购买问题。此外,本文在研究中假设信息对称,后续研究可对信息不对称的情况进行讨论。

参考文献:

- [1]Zhu K, Zhang R Q, Tsung F. Pushing quality improvement along supply chains[J]. *Management Science*, 2007, 53(3): 421-436.
- [2]Dunk A S. Product quality, environmental accounting and quality performance[J]. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 2002, 15(5): 719-732.
- [3]Sherefkin R. Ford's recall challenge[J]. *Automotive News*, 2002, 62(5985): 8-9.
- [4]Sherefkin R, Armstrong J C. Suppliers wary of increasing warranty charges[J]. *Automotive News*, 2003: 17.
- [5]Chao G H, Irvani S M, Savaskan R C. Quality improvement incentives and product recall cost sharing contracts[J]. *Management Science*, 2009, 55(7): 1122-1138.
- [6]Aldred C. Brake applied to recall cover[J]. *Business Insurance*; Chicago, 2004, 38(14): 1-29.
- [7]Chen L, Lee H L. Sourcing under supplier responsibility risk: The effects of certification, audit, and contingency payment

- [J]. *Management Science*, 2016, 63(9): 2795–2812.
- [8] Lee H H, Li C. Supplier quality management: Investment, inspection, and incentives [J]. *Production and Operations Management*, 2018, 27(2): 304–322.
- [9] Chen J, Liang L, Yang F. Cooperative quality investment in outsourcing [J]. *International Journal of Production Economics*, 2015, 162: 174–191.
- [10] Rui H, Lai G. Sourcing with deferred payment and inspection under supplier product adulteration risk [J]. *Production and Operations Management*, 2015, 24(6): 934–946.
- [11] 牛文举, 夏晶, 汤伟, 等. 市场竞争中具溢出效应共同供应商质量投资策略 [J]. *管理工程学报*, 2017(2): 222–232.
- Niu Wenju, Xia Jing, Tang Wei, et al. Quality investment in a shared supplier with spillover effects in a competitive market [J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2017, (2): 222–232. (in Chinese)
- [12] 陈崇萍, 陈志祥, 邵校. 制造商对供方缺陷改善投资的双源采购决策研究 [J]. *管理科学学报*, 2017, 20(12): 39–51.
- Chen Chongping, Chen Zhixiang, Shao Xiao. Dual-sourcing procurement decisions in the presence of manufacturers' investment in suppliers' quality defect improvement [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(12): 39–51. (in Chinese)
- [13] 温小琴, 胡奇英. 基于质量意识和工艺创新的供应链质量决策 [J]. *管理科学学报*, 2018, 21(2): 80–90.
- Wen Xiaoqin, Hu Qiyang. Quality choice in a supply chain based on quality consciousness and process innovation [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(2): 80–90. (in Chinese)
- [14] Reyniers D J, Tapiero C S. The delivery and control of quality in supplier-producer contracts [J]. *Management Science*, 1995, 41(10): 1581–1589.
- [15] Lim W S. Producer-supplier contracts with incomplete information [J]. *Management Science*, 2001, 47(5): 709–715.
- [16] Balachandran K R, Radhakrishnan S. Quality implications of warranties in a supply chain [J]. *Management Science*, 2005, 51(8): 1266–1277.
- [17] 李丽君, 黄小原, 庄新田. 双边道德风险条件下供应链的质量控制策略 [J]. *管理科学学报*, 2005, 8(1): 42–47.
- Li Lijun, Huang Xiaoyuan, Zhuang Xintian. Strategy of quality control in supply chain under double moral hazard condition [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2005, 8(1): 42–47. (in Chinese)
- [18] 刘学勇, 熊中楷, 熊瑜. 线性需求下的产品召回成本分担和质量激励 [J]. *系统工程理论与实践*, 2012, 32(7): 1400–1407.
- Liu Xueyong, Xiong Zhongkai, Xiong Yu. Cost sharing and quality improvement incentives in the products recall considering the linear demand [J]. *System Engineering: Theory and Practice*, 2012, 32(7): 1400–1407. (in Chinese)
- [19] 孙健慧, 张海波, 赵黎明. 三级装备制造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. (in Chinese)
- [20] Chen J, Wei H, Xie L. The role of business insurance in managing a manufacturer's product quality risk [J]. *Operations Research Letters*, 2017, 45(6): 635–641.
- [21] Dong L, Tomlin B. Managing disruption risk: the interplay between operations and insurance [J]. *Management Science*, 2012, 58(10): 1898–1915.
- [22] Bowers N L. *Actuarial Mathematics* [M]. Itasca: Society of Actuaries, 1986.
- [23] Cummins J D. Statistical and financial models of insurance pricing and the insurance firm [J]. *Journal of Risk and Insurance*, 1991: 261–302.
- [24] Serpa J, Krishnan H. The strategic role of business insurance [J]. *Management Science*, 2017, 63(2): 384–404.
- [25] Chen Y H, Xu M H, Zhang Z G. A risk-averse newsvendor model under the CVaR criterion [J]. *Operation Research*

2009, 57(4): 1040 – 1044.

[26] Rockafellar R T, Uryasev S. Conditional value-at-risk for general loss distributions [J]. *Journal of Banking & Finance*, 2002, 26(7): 1443 – 1471.

The application of business insurance into the management of quality risks in supply chain

CHEN Jing^{1 2}, *WEI Hang*^{2*}, *XIE Lei*²

1. School of Business Administration, Shandong Technology and Business University, Shandong 264005, China;

2. College of Business, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai 200433, China

Abstract: In practice, the manufacturer can control the supplier's quality by means of business insurance, hence reducing the potential business loss induced by component defects. However, the cost of business insurance is relatively high, which may lead suppliers to despise the seriousness of quality problems, and then abandon quality improvement. Based on a procurement contract decision model of two-echelon supply chains in single period under complete information, this paper studies how the manufacturer can take advantage of business insurance to manage the quality risk of supply chains. By comparing the manufacturer's profits under the no-insurance strategy with that under business insurance strategy, it aims to explore the implementation conditions of the business insurance strategy, and gives the optimal purchase contract and the business insurance strategy. The results show that: (1) If the supplier is small in size and poor in anti-risk capacity, the business insurance strategy can eliminate the constraints of risk tolerance on transactions of the two parties and promote transactions; (2) If the supplier is large in size and strong in anti-risk capacity, the manufacturer can take advantage of business insurance strategy to reduce the purchase price of components and to raise the expected profits; (3) The optimal strategy for the manufacturer is to insure for the full value if it insures; (4) The implementation of business insurance does not necessarily lead to a decline in component quality. When the quality cost or the supplier's risk tolerance is relatively low, there is a complementary effect between business insurance strategy and quality improvement. When both the risk tolerance and the quality cost are high, there is a substitution effect between business insurance strategy and quality improvement.

Key words: product quality risk management; business insurance; quality improvement; risk aversion; procurement contract