

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2023.04.009

考虑供应风险的竞合供应链决策研究^①

曾能民¹, 曾冬玲², 任廷海³

(1. 哈尔滨工程大学经济管理学院, 哈尔滨 150001; 2. 黑龙江工商学院, 哈尔滨 150016;
3. 贵州财经大学工商管理学院, 贵阳 550001)

摘要: 随着供应链的全球化 and 商业环境的瞬息万变, 如何应对供应风险, 是企业运作管理中需考虑的核心问题之一. 本文采用建模分析法研究了近年来运作实践中新出现的一种风险应对策略——与对手合作, 并建立了如下供应链竞合模型: 模型考虑一个产品制造商需向一个具有随机中断风险的供应商采购某种核心零部件以制成产品, 并与对手在市场上展开竞争, 其中对手是一个能够自己生产该零件并制成产品的集成制造商; 在供应商的供应中断发生后, 产品制造商可以从竞争对手处对零部件进行补货. 研究发现, 在上游供应商获得订单且发生供应中断的前提下, 两个制造商之间的补货合作一定会达成, 这意味着补货合作选项具有风险应对效应. 然而从总体上看, 依赖于市场潜能、供应的可靠性、产品间的替代性以及成本的大小, 两个制造商之间的竞争与合作既可能共存, 也可能互斥 (即只竞争不合作或只合作不竞争). 除此之外, 区别于既往文献的经典研究结论——“下游企业紧急补货选项的存在使具有供应风险的 (上游) 主供应商获得的订货量减少”, 本文在引入供应链竞合之后却发现: 补货合作选项的存在竟然会使具有供应风险的上游供应商获得的订货量增加, 即两个制造商之间的合作具有向上的溢出效应. 而且本文还发现, 与没有合作选项的情形相比, 合作的存在使两个制造商投放到市场的产品总量增加, 即两个竞争性制造商之间的补货合作还具有向下的溢出效应——降低了市场价格从而提高了消费者剩余.

关键词: 供应链管理; 竞争; 合作; 供应风险

中图分类号: F274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2023)04-0175-18

0 引言

自然灾害 (如海啸、台风、地震)、政治动荡、恐怖袭击、工人罢工、公司破产等各种各样的潜在因素都可能引起供应中断风险^[1]. 在运作实践中, 当企业面临上游的供应中断风险同时又没有其他风险应对方式时, 与竞争对手进行合作以获得额外的补货渠道, 成为制造业中新涌现的一种

做法. 比如, 在 2017 年三星的电视面板主供应商夏普突然被富士康收购, 随后富士康宣布停止向三星供货; 为应对突如其来的供应中断问题, 三星电视不得不向其竞争对手 LG 电视采购液晶电视面板^[2]. 又比如, 在 2009 年奔驰母公司戴姆勒向深陷供应链危机的特斯拉提供了包括安全气囊、传感器和悬架在内的众多汽车零部件^[3]. 类似的现象还存在于奔迈 (Palm) 与戴尔、索尼与东芝等

① 收稿日期: 2019-09-29; 修订日期: 2021-10-22.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (72001057; 72061004; 72072046); 教育部人文社科基金资助项目 (19YJC630052); 黑龙江省自然科学基金资助项目 (LH2020G003); 黑龙江省哲学社会科学研究规划项目 (20GLC205); 中央高校基本科研业务费项目 (3072021CFW0901; 3072021CFT0902; 3072021CFW0905); 黑龙江工商学院校级课题项目 (HgsKC2021-07).

作者简介: 曾能民 (1986—), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师. Email: zengnengmin@126.com

国际知名企业上^[3]. 因此,受大量运作实例的启发,本文将致力于研究考虑供应中断风险的供应链产品竞争与供货合作问题.

既往研究中,有两个方面的文献和本文最相关. 第一个方面的文献关注的是供应中断风险的管理问题. Babich 等^[4]研究了一个零售商面对两个具有供应中断风险的供应商时的采购数量决策问题,其中两个供应商之间需进行批发单价竞争;论文分析了双源采购的风险分散效应和竞争效应. Tomlin^[5]在研究后备采购策略时发现,如果后备采购没有预订成本和产能限制,那么只有在主供应商发生供应中断时,后备采购才被启用;相反,在有产能限制和预订成本时,制造商有可能在主供应商未发生中断风险时就启用后备采购. Saghafian 和 VanOyen^[6]探讨了两种不同的风险应对策略在提升供应链响应能力方面的作用,这两种策略分别是付出努力获取中断风险信息 and 实施后备采购. Yang 等^[7]设计了供应中断风险下的双源采购合同,探讨了不对称信息对双源采购的风险分散效应和竞争效应的影响. Chen 和 Yang^[8]研究了一个具有后备选项的定期查看库存系统,其中当主供应商出现供应中断时,可以使用价格昂贵、产能有限的后备供应商进行补货. Huang 和 Xu^[9]在买方面临两个具有随机中断风险的主供应商和一个完美可靠但成本更高的后备供应商时,运用两阶段动态规划建模方法,求出了信息更新背景下双源采购和后备供应共存与互斥的条件,并发现,后备供应的存在降低了企业选择双源采购的可能性. Guo 等^[10]研究了主供应商既有供应中断风险又有随机产出风险下的采购问题,并分析了这两种不同的风险对常规和后备采购决策的影响. 李新军等^[11]比较了供应中断风险下关于后备采购的两种期权执行模式,其中一种是需求未知情况下提前向后备供应商订货的推式订货模式,另一种是获知需求后再向后备供应商订货的推式与拉式相结合的订货模式. Yin 和 Wang^[12]比较了制造商向后备供应商采购时的三种不同订货方式——提前采购、预订和紧急采购,研究发现,若中断概率较高则提前采购占优,若中断概率适

中则制造商应选择预订策略,若中断概率较低则紧急采购占优. Nejad 等^[13]认为后备采购是一种高效的(供应中断)风险应对策略,开发了一个基于混合整数规划的产量计划工具,该工具可以生成中断发生时的供应链应急计划,并确定后备供应商的合适响应速度. Gheibi 等^[14]研究了多产品零售商面对供应中断风险时的最优采购策略. 刘纯霞等^[15]研究了供应中断风险下关于中断保险的四种购买策略——零售商购买策略、制造商购买策略、联合购买策略和不购买策略,发现制造商购买策略与联合购买策略都能有效转移运营中断风险. 通过文献梳理可以发现,既往关于供应中断风险的研究主要考虑下游企业如何通过持有库存、双源采购、后备采购等策略应对上游的供应中断风险. 与既往文献不同的是,本研究是在两条供应链竞争的情形下探讨其中一条供应链为应对供应中断风险而与另一条供应链开展合作的问题.

第二个方面的文献关注的是两条供应链之间的竞合问题. Kafi 和 Fatemi^[16]探讨了两个相互竞争的企业之间的成本削减合作,并发现对任何一个企业而言,这种竞合关系都优于纯粹的竞争关系,该结论也进一步验证了之前的一些实证研究(如文献[17, 18])的结果. Pun^[19]在 Hotelling 模型框架下研究了一个产品制造商和一个集成制造商之间的竞争问题,其中产品制造商既要决定向独立供应商还是向竞争对手采购零部件,还要决定由自己还是零件供应企业付出努力以提升质量;结果显示,产品制造商既可能向对手采购也可能向独立供应商采购,而且即使对手的努力成本更高,向对手采购的情况依然可能发生. Niu 等^[20]在伯川德模型(Bertrand Model)框架下研究了一个产品制造商和一个集成制造商之间的竞争问题,其中两个制造商生产的产品有一定差异,产品制造商可以向供应商和竞争对手分别采购部分零件以制造产品;研究发现,在均衡状态下,产品制造商不会向供应商采购任何零件即便其拥有更低的批发单价,两个制造商之间的供货合作总是会达成且没有任何一个制造商愿意背离这种合作,因为这种合作会削弱竞争强度并形成一种共

谋均衡. Luo 等^[21]研究了碳排放总量管制政策下生产竞争性产品的两个制造商在碳排放方面的合作问题, 并发现相对于纯粹的竞争关系而言, 竞合关系会导致更高的利润和更低的碳排放. Hafezal-kotob^[22]研究了政府税收干预下两条供应链的竞争-合作问题, 其中每条供应链都包括一个制造商和一个零售商, 两条链的零售商之间进行产品的价格竞争, 而制造商之间进行节能合作, 结果显示, 相对于纯粹的供应链竞争而言, 竞合关系可以增加系统利润, 而且增加的利润可以用夏普利法在供应链间公平地分配. Niu 等^[23]考虑了由集成制造商和原始设备制造商组成的竞合供应链, 其中集成制造商充当原始设备制造商的上游合同制造商和下游竞争对手; 研究发现, 两家公司在需求不确定性较高时都选择事后生产策略(即不确定性消除之后再生产), 而在不确定性中等或较低时他们中只有一家选择事后生产策略. Hsu 等^[24]考虑了一家跨国公司, 该公司在低税率国家生产产品并在高税率国家销售产品, 该公司面临的决策是, 是否将产品出售(以及以什么价格出售)给零售市场上具有替代外部采购选项的竞争对手; 结果表明, 当税率差异很小时, 跨国公司只会将产品出售给低成本的竞争对手, 当税率差异很大时, 跨国公司只会出售给高成本的竞争对手. 曾能民等^[25]研究了消费者具有异质质量偏好时双寡头制造企业间的产品竞争与零件供应合作问题, 发现竞争与合作既可能共存, 也可能互斥: 若该行业的成本参数较低, 竞争与合作共存; 若该行业的成本参数较高, 则当垂直一体化制造商的产品质量比对手更低时竞争排斥合作, 当它的产品质量比对手更高时, 合作排斥竞争. Feng 等^[26]研究了一个关于渠道入侵的供应链竞合问题: 上游合同制造商(CM)既可以向原始设备制造商(OEM)供应指定产品, 也可以通过向消费者提供可替代产品来直接与OEM竞争; 研究还分析了供应链竞合均衡存在的条件. 通过梳理供应链竞合的文献可以发现, 这些研究聚焦于两条具有竞争关系的供应链在供货、节能或成本削减等方面的合作, 但没有考虑供应中断风险问题. 相比之下, 本研究不

仅考虑了两条供应链之间的竞合问题, 还考虑供应风险的应对问题.

第三个方面的文献关注的是横向调拨(也称横向转运)问题. Lee 等^[27]研究了由一个制造商和多个经销商之间的两阶段决策模型, 其中在第一阶段时, 每个经销商向制造商采购产品, 在第二阶段时, 经销商之间可以买卖过剩的库存(即横向调拨); 研究发现, 经销商之间的横向调拨既可能使制造商的销量增加, 也可能使之减少, 但横向调拨总能提高整条供应链的利润. Wei 等^[28]证明, 在文献[27]的基础上, 若制造商作为 Stackelberg 领导者采用收益共享合同, 可以实现整条供应链利润的最大化. Summerfield 等^[29]研究了多个零售商基于利润共享合同协调库存的横向调拨, 以满足库存不足或超额需求的问题. Çömez 等^[30]研究了在销售季节订购和销售相同产品的零售商分散系统, 发现零售商的最佳转运(即横向调拨)策略是动态的, 且较小的零售商和地理位置较远的零售商从转运中获益更多. 但斌等^[31]通过建立多销售阶段预防性横向调拨和订货模型, 发现每个零售商无需考虑其他零售商的预防性调拨策略就可以通过事先制定的调入与调出阈值来控制自身库存. Dehghani 和 Abbasi^[32]研究了不同医院之间横向的血液调拨问题, 并提出了一种基于系统中最旧血液存放时长的转运策略; 结果表明, 与基于经验的转运策略相比, 作者提出的转运策略将使医院的总库存成本降低 61%. 万鹏等^[33]认为不同零售商在各自区域市场内面临的需求不确定将加剧整个市场的供需不匹配, 并构建了两个零售商面对一个制造商时的两次订货模型, 其中在两次订货的间隔期, 两个零售商可以根据需求信息的更新进行预防性横向调拨; 研究发现, 预防性横向调拨策略能够提高零售商和整条供应链的利润, 也可以使制造商以较低的生产规模满足市场需求. 通过文献梳理可以发现, 现有关于横向调拨的研究关注的是多个(负责不同市场的)独立分销商(或零售商)向一个共同制造商采购一种产品后, 为应对需求不确定性而实施的横向转运问题. 相比之下, 本研究探讨的是, 产品制造商在其

供应商发生供应中断时可以向竞争对手采购零件的供应链竞合问题,其中竞争对手是一个既能生产零件也能生产产品的集成制造商.因此,本研究与横向调拨的文献存在三个方面的区别:首先,本研究考虑了上游的供应中断风险;第二,在本研究的供应链模型中,下游企业之间并非独立,而是具有激烈的竞争关系;第三,本研究考虑了下游企业间产品的异质性,即不同企业生产的产品虽然具体替代性,但也存在差异.

纵观既往文献,尽管分别探讨供应中断风险和供应链竞合的研究都有,但同时考虑两者的研究未见;具体而言,针对近年来运作实践中一种新的供应中断风险应对策略——与对手合作,目前尚缺乏理论研究.因此,理论上亟待解决的科学问题是,在考虑上游供应中断风险的情形下,两个下游企业之间的竞争与合作能否共存?如果可以,在怎样的条件下能共存,在怎样的条件下只竞争不合作,或只合作不竞争?两个下游企业之间的合作对竞争具有怎样的影响?为回答这些科学问题,本文研究了一个产品制造商面对上游供应商的随机中断风险时,与竞争对手之间的供货合作问题,求出了产品制造商的常规采购数量决策、对手的投产数量决策、供货合作时对手(对于零件)的批发单价决策和产品制造商的补货数量决策,分析了合作对竞争的影响.

1 模型描述

考虑两个具有竞争关系的制造商 M1 和制造商 M2 生产某种产品以满足市场需求,其中 M2 既可以制造零件也可以制造产品(称之为“集成制造商”),而 M1 则需从外部采购零件以制造产品(称之为“产品制造商”).图 1 刻画了 M1 和 M2 之间的关系.

为生产的需要,制造商 M1 需向一个长期合作的供应商 S 采购一种关键零部件,单位采购成本为 c_1 ($c_1 > 0$).不失一般性,设每单位产品需要一单位的该零件^[40].采购时,制造商 M1 需决

策订货量 Q_r ,为方便表述,称 Q_r 为常规采购数量.然而,受自然灾害(如海啸、台风、地震)、人为原因(如政治动荡、恐怖袭击、工人罢工)、技术故障、公司破产等潜在因素的影响^[1],供应商 S 面临随机中断风险,和既往研究一样(如文献[34, 35]),设该供应商供货的成功率 δ 服从 $(0 - 1)$ 分布

$$\delta = \begin{cases} 1, & \text{概率为 } \beta \\ 0, & \text{概率为 } 1 - \beta \end{cases}$$

其中 β 为供应商的可靠性且 $0 < \beta < 1$.因此,供应商实际供应的产品数量为 δQ_r ,制造商 M1 需要向供应商 S 支付 $\delta c_1 Q_r$.

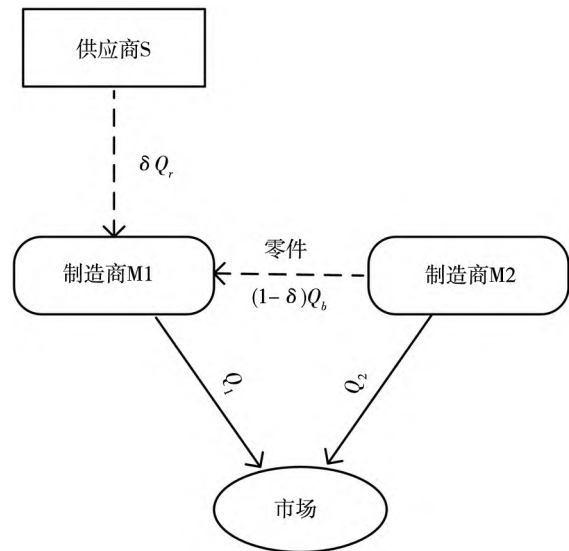


图 1 供应链结构②

Fig. 1 Supply chain structure

制造商 M2 是一个垂直一体化企业(如引言中提到的 LG 集团),它可以自己生产该零件,且零件的单位生产成本为 c_2 ($c_2 > 0$).由于自己生产比外部采购更可控也更可靠,因此为突出研究问题,设 M2 生产的零件不存在供应中断风险.制造商 M2 需决策用以生产自己的产品所需要的零件数量 Q_2 ,为方便表述,称 Q_2 为 M2 的投产数量.

由于产品的生产提前期很长,一旦供应商 S 出现供应中断($\delta = 0$),产品制造商 M1 可以从

② 事实上,制造商 M2 可以看成是一条集成供应链,因此图 1 表示的是两条供应链之间的竞争与合作问题.

对手 M2 处对零部件进行补货(也称后备采购),即竞争企业之间可以进行供货合作(如引言中提到的三星和 LG、特斯拉和戴姆勒的做法)^③.此时,集成制造商 M2 先给出批发单价 w ,产品制造商 M1 决策补货(即后备采购)数量 Q_b .由于现实中常规采购和后备采购都发生供应中断的情况几乎未见,且既往文献(如文献[5, 7])往往假设后备采购是完美可靠的,因此本文也设集成制造商 M2 能把数量为 Q_b 的零部件全部交付给产品制造商 M1.

最后,制造商 M1 和制造商 M2 把他们所拥有的数量分别为 $Q_1 = \delta Q_r + (1 - \delta)Q_b$ 和 Q_2 的零件转化成产品并投放到市场^④.每个制造商除采购或生产零件的成本外,其他成本标准化为零^[36, 37].设制造商 M1 和制造商 M2 所面对的市场反需求函数分

别为 $P_1 = D - aQ_1 - bQ_2$ 、 $P_2 = D - aQ_2 - bQ_1$,其中 D 为市场潜能, Q_1 和 Q_2 分别为 M1 和 M2 投放到市场上的产品数量, a 、 b 为数量敏感性系数,且 $a > b > 0$,这意味着对手投放的产品数量对自身产品价格的影响要小于本身投放的产品数量对自身产品价格的影响,即两种产品是不完全替代的.于是, b 也称为两个产品之间的替代性^[43].为了避免无意义的讨论,做如下假设:

假设 1 $D > c_i$, 其中 $i = 1, 2$. 由于 $Q_1 = Q_2 = 0$ 时 $P_i = D$, 因此该假设意味着每种产品的极限(最高)价格均高于其成本.若该假设不成立,则没有任何一个制造商会向市场投放产品,研究将失去意义;因此,该假设被大量文献(如文献[7, 40-42])所采用.

事件的时间顺序如图 2 所示:

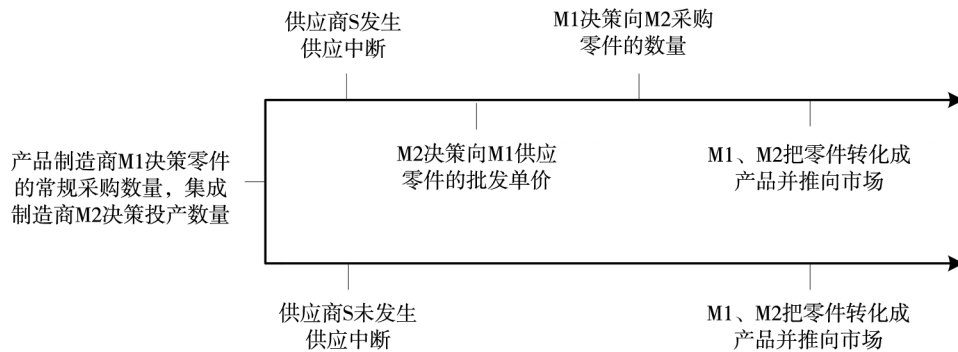


图 2 事件的时间顺序

Fig. 2 Timeline of the events

2 竞争企业间不存在合作选项时的决策分析

为分析合作对各方决策的影响,先考虑一种特殊情形:竞争企业间不存在供货合作时的决策.此时,制造商 M1 只需决策常规采购数量 Q_r^N (即 $Q_b^N = 0$),制造商 M2 只需决策投产数量 Q_2^N (上标 N 是竞争企业间不存在供货合作情形时的标签,下同).

给定制造商 M2 的投产数量 Q_2^N , 制造商 M1

需决策常规采购数量 Q_r^N 以最大化自己的期望利润 $E_k(\pi_1^N)$

$$\max_{Q_r^N} E(\pi_1^N) = E[(D - aQ_1^N - bQ_2^N)Q_1^N - c_1Q_1^N]$$

$$\text{s. t. } Q_r^N \geq 0 \tag{1}$$

由于 M1 和 M2 间没有合作选项,即不存在后备采购,此时, $Q_1^N = \delta Q_r^N$; $(D - aQ_1^N - bQ_2^N)Q_1^N$ 为制造商 M1 获得的收益, $c_1Q_1^N$ 为制造商 M1 的常规采购成本.

给定制造商 M1 的采购数量 Q_r^N , 制造商 M2

③ 若供应中断未发生($\delta = 1$),则无需补货.

④ 此处 $Q_1 = \delta Q_r + (1 - \delta)Q_b$ 的含义是:若供应商 S 没发生供应中断($\delta = 1$),则制造商 M1 只从 S 处采购零部件($Q_1 = Q_r$);若供应商 S 发生供应中断($\delta = 0$),则制造商 M1 从对手处补货($Q_1 = Q_b$).

需决策投产数量 Q_2^N 以最大化自己的期望利润

$$\max_{Q_2^N} E(\pi_2^N) = E[(D - aQ_2^N - bQ_1^N)Q_2^N - c_2Q_2^N] \quad (2)$$

$$\text{s. t. } Q_2^N \geq 0$$

其中 $Q_1^N = \delta Q_r^N, (D - aQ_2^N - bQ_1^N)Q_2^N$ 为制造商 M2

获得的收益, $c_2Q_2^N$ 为制造商 M2 的生产成本.

解上述两个规划,得命题 1.

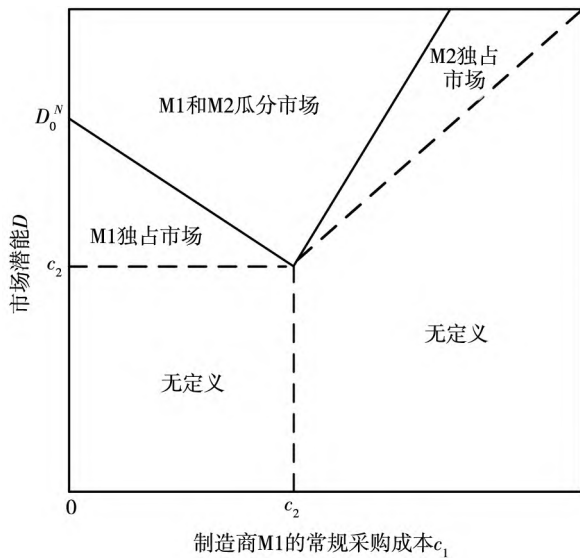
命题 1 制造商 M1 和制造商 M2 之间不存在合作选项时, M1 的均衡采购数量决策和 M2 的均衡投产数量决策如下:

表 1 竞争企业间不存在合作选项时的均衡决策

Table 1 Equilibrium decisions when there is no cooperative option between competing manufactures

条件		Q_r^{N*}	Q_2^{N*}
$c_1 \geq c_2$	$D \leq \frac{2ac_1 - bc_2}{2a - b}$	0	$\frac{D - c_2}{2a}$
	$D > \frac{2ac_1 - bc_2}{2a - b}$	$\frac{2a(D - c_1) + b(c_2 - D)}{4a^2 - b^2\beta}$	$\frac{b\beta(c_1 - D) + 2a(D - c_2)}{4a^2 - b^2\beta}$
$c_1 < c_2$	$D \leq \frac{2ac_2 - b\beta c_1}{2a - b\beta}$	$\frac{D - c_1}{2a}$	0
	$D > \frac{2ac_2 - b\beta c_1}{2a - b\beta}$	$\frac{2a(D - c_1) + b(c_2 - D)}{4a^2 - b^2\beta}$	$\frac{b\beta(c_1 - D) + 2a(D - c_2)}{4a^2 - b^2\beta}$

证明过程见附录,下同.



注: $D_0^N = \frac{2ac_2}{2a - b\beta}$; 由于 $D > c_i$ (假设 1), 图中无定义的区域即为 $D \leq c_i$ 对应的区域

图 3 制造商 M1 和制造商 M2 之间竞争的结果

Fig. 3 The results of competition between manufacturers M1 and M2

图 3 直观地展示了命题 1 中的结论: 当 $c_1 < c_2$ 且 $D \leq \frac{2ac_2 - b\beta c_1}{2a - b\beta}$ 时, 制造商 M1 将独占市场; 当 $c_1 \geq c_2$ 且 $D \leq \frac{2ac_1 - bc_2}{2a - b}$ 时, 制造商 M2 将独占

市场; 其他条件下, 整个市场将被两个制造商瓜分. 这是因为, 当制造商 M2 的成本较高且市场潜能较小时, 其成本劣势明显, 因此 M2 被挤出市场; 而当制造商 M1 的成本较高且市场潜能较小时, M1 劣势明显, 因而被挤出市场; 在其他条件下, 制造商 M1 和制造商 M2 之间势均力敌, 任何一方都无法完全击败对手, 因此整个市场被二者瓜分.

3 竞争企业间存在合作选项时的决策分析

本节分析制造商 M1 和制造商 M2 之间存在合作选项时各方的均衡决策. 采用逆向归纳法求解该动态博弈的均衡, 即先求解制造商 M1 的补货决策问题, 再求解制造商 M2 的批发单价决策问题, 最后求解 M1 和 M2 的数量决策问题.

3.1 均衡决策

首先, 分析制造商 M1 的补货决策问题. 给定产品制造商 M1 的常规采购数量 Q_r 、集成制造商 M2 的投产数量 Q_2 、M2 的批发单价 w 、供应商 S 实现后的供货成功率 δ , 制造商 M1 决策补货数量 Q_b . 此时, 若 $\delta = 1$, 则根据模型设定, 制造商 M1 无需补货即 $Q_b = 0$; 若 $\delta = 0$, 则制造商 M1

的决策问题为

$$\max_{Q_b} \pi_1 = (D - aQ_1 - bQ_2)Q_1 - wQ_1 \quad (3)$$

$$\text{s. t. } Q_b \geq 0 \quad (4)$$

其中 $Q_1 = \delta Q_r + (1 - \delta)Q_b = Q_b$, $(D - aQ_1 - bQ_2)Q_1$ 为制造商 M1 获得的收益, wQ_1 为制造商 M1 的采购支出成本.

接着分析制造商 M2 的批发单价决策. 给定产品制造商 M1 的常规采购数量 Q_r 、集成制造商 M2 的投产数量 Q_2 、供应商 S 实现后的供货成功率 δ , 制造商 M2 决策批发单价 w . 此时, 若 $\delta = 1$, 则根据模型设定, 制造商 M1 无需补货即 w 不存在; 若 $\delta = 0$, 则制造商 M2 的决策问题为

$$\begin{aligned} \max_w \pi_2 &= (D - aQ_2 - bQ_b)Q_2 + \\ &wQ_b - (Q_b + Q_2)c_2 \\ \text{s. t. } w &\geq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $(D - aQ_2 - bQ_b)Q_2 + wQ_b$ 为制造商 M2 的收益, $(Q_b + Q_2)c_2$ 为制造商 M2 的生产成本.

最后需分析制造商 M1 的常规采购数量 (Q_r) 决策, 以及制造商 M2 的投产数量 (Q_2) 决策, 其中 M1 和 M2 的决策同时进行. 具体决策问题如下:

给定制造商 M2 的投产数量 Q_2 , 制造商 M1

需决策常规采购数量 Q_r 以最大化自己的期望利润

$$\begin{aligned} \max_{Q_r} E_\delta(\pi_1) &= E_\delta[(D - aQ_1 - bQ_2)Q_1 - \\ &c_1\delta Q_r - w^*(1 - \delta)Q_b^*] \\ \text{s. t. } Q_r &\geq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $Q_1 = \delta Q_r + (1 - \delta)Q_b$, $(D - aQ_1 - bQ_2)Q_1$ 为制造商 M1 的收益, $c_1\delta Q_r$ 为制造商 M1 的常规采购成本, $w^*(1 - \delta)Q_b^*$ 为制造商 M1 的补货支出成本.

给定制造商 M1 的常规采购数量 Q_r , 制造商 M2 需决策投产数量 Q_2 以最大化自己的期望利润

$$\begin{aligned} \max_{Q_2} E_\delta(\pi_2) &= E_\delta[(D - aQ_2 - bQ_1)Q_2 + \\ &w^*(1 - \delta)Q_b^* - (Q_2 + (1 - \delta)Q_b^*)c_2] \\ \text{s. t. } Q_2 &\geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $Q_1 = \delta Q_r + (1 - \delta)Q_b$, $(D - aQ_2 - bQ_1)Q_2 + w^*(1 - \delta)Q_b^*$ 为制造商 M2 的收益, $(Q_2 + (1 - \delta)Q_b^*)c_2$ 为制造商 M2 的生产成本.

解上述四个规划, 即得命题 2.

命题 2 制造商 M1 的均衡常规采购数量决策、均衡补货数量决策以及制造商 M2 的均衡投产数量决策、均衡批发单价决策如下:

表 2 竞争企业间存在合作选项时的均衡决策

Table 2 Equilibrium decisions when there is cooperative option between competing manufactures

条件		Q_r^*	Q_b^*	Q_2^*	w
$c_1 \geq c_2$	$D \leq \frac{(2b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)c_1 - (b^2\beta + 2ab - b^2)}{b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2}$	0	0	k	不存在
	$D > \frac{(2b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)c_1 - (b^2\beta + 2ab - b^2)}{b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2}$	m	$\begin{cases} m - \frac{D - 2c_1 + c_2}{4a}, \delta = 0 \\ 0, \delta = 1 \end{cases}$	n	$\begin{cases} D - bn, \delta = 0 \\ \text{不存在}, \delta = 1 \end{cases}$
$c_1 < c_2$	$D \leq \frac{(b\beta + 2a - b)c_2 - b\beta c_1}{2a - b}$	$\frac{D - c_1}{2a}$	$\begin{cases} \frac{D - c_2}{4a}, \delta = 0 \\ 0, \delta = 1 \end{cases}$	0	$\begin{cases} \frac{D + c_2}{2}, \delta = 0 \\ \text{不存在}, \delta = 1 \end{cases}$
	$D > \frac{(b\beta + 2a - b)c_2 - b\beta c_1}{2a - b}$	m	$\begin{cases} m - \frac{D - 2c_1 + c_2}{4a}, \delta = 0 \\ 0, \delta = 1 \end{cases}$	n	$\begin{cases} D - bn, \delta = 0 \\ \text{不存在}, \delta = 1 \end{cases}$

注: $m = \frac{(\beta - 1)(D - 2c_1 + c_2)b^2 - 2a(D - c_2)b + 4a^2(D - c_1)}{2a(\beta - 2)b^2 + 8a^3}$, $n = \frac{b\beta(c_1 - c_2) + (2a - b)(D - c_2)}{(\beta - 2)b^2 + 4a^2}$, $k = \frac{(b\beta + 2a - b)(D - c_2)}{2b^2(\beta - 1) + 4a^2}$

值得注意的是,由于制造商 M1 的上游一旦发生供应中断,制造商 M2 可以独占市场并让自己的产品获得更高的售价,因此直觉很容易认为,此时 M2 很可能不会为对手提供补货帮助.然而命题 2 表明,结论是出人意料的:当 M1 的供应商发生供应中断(即 $\delta = 0$)时,两个具有竞争关系的制造商 M1 和制造商 M2 之间的补货合作总是会达成(即 $Q_b^* > 0$).这是因为,对于制造商 M1 而言,补货合作能较好地应对供应中断风险;对于制造商 M2 而言,补货合作

能让自己的零件进入对手的忠实顾客群体,同时 M2 可以通过批发单价决策间接地调节对手补货的数量,从而使双方的竞争不至于太强.因此,发生供应中断后,补货合作让双方都获利.

3.2 竞合关系

本节主要分析两个制造商 M1 和制造商 M2 之间的竞争与合作关系.根据命题 2,可得命题 3.

命题 3 制造商 M1 和制造商 M2 之间的竞争与合作关系如下^⑤:

表 3 两个制造商之间的竞合关系

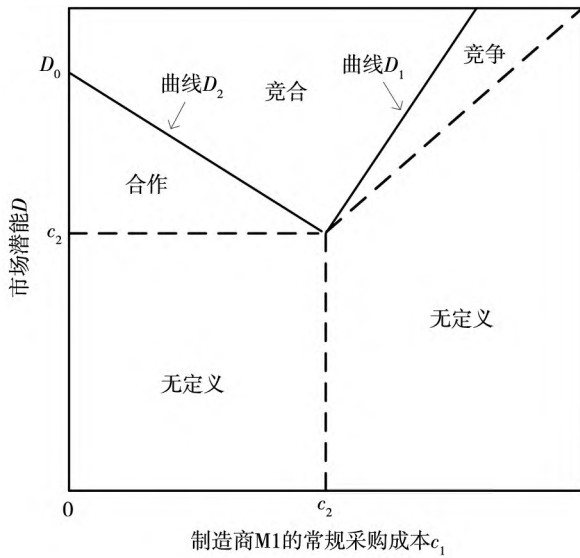
Table 3 Competitive and cooperative relationship between the two manufacturers

条件		Q_1^*	Q_2^*	$E(Q_b^*)$	M1 和 M2 的关系
$c_1 \geq c_2$	$D \leq \frac{(2b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)c_1 - (b^2\beta + 2ab - b^2)}{b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2}$	0	+	0	竞争(M2 独占市场,M1 退出)
	$D > \frac{(2b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)c_1 - (b^2\beta + 2ab - b^2)}{b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2}$	+	+	+	竞合
$c_1 < c_2$	$D \leq \frac{(b\beta + 2a - b)c_2 - b\beta c_1}{2a - b}$	+	0	+	合作(M1 独占市场,M2 退化为供应商)
	$D > \frac{(b\beta + 2a - b)c_2 - b\beta c_1}{2a - b}$	+	+	+	竞合

图 4 直观地展示了命题 3 中的结论:从事前来看,两个制造商 M1 和制造商 M2 之间的竞争与合作既可能共存,也可能互斥.具体而言,若制造商 M1 具有成本优势($c_1 < c_2$)且市场潜能较小($D \leq \frac{(b\beta + 2a - b)c_2 - b\beta c_1}{2a - b}$),两个制造商只合作不竞争,即产品制造商 M1 独占市场而集成制造商 M2 退化为 M1 的后备供应商;若制造商 M2 具有成本优势($c_1 \geq c_2$)且市场潜能较小($D \leq \frac{(2b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)c_1 - (b^2\beta + 2ab - b^2)}{b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2}$),两个制造商只竞争不合作,即制造商 M2 独占市场而 M1 被挤出市场;在其他条件下,两个制造商之间的竞争与合作共存,即制造商 M1 和制造商 M2 瓜分市场的同时 M2 也为 M1 提供补货帮助.

这是因为,当制造商 M1 具有成本优势且市场潜能较小时,制造商 M2 的产品因成本劣势无法获得正的销量,但 M1 可以通过与 M2 的补货合作应对供应风险, M2 也可以通过补货合作时的批发单价决策获利,因此两个制造商只合作不竞争.当制造商 M2 具有成本优势且市场潜能较小时, M1 在成本和供应风险上的双重劣势导致其被挤出市场,且此时由于 M1 未实施常规采购,不存在供应中断,因此补货选项无法被激活,故 M1 和 M2 只竞争不合作.在其他条件下,由于市场规模较大,两个制造商都能获得属于自己的市场份额,与此同时,两者还能通过补货合作响应双寡头市场中的剩余需求,因此竞争与合作共存.

⑤ 表中的“+”表示值为正.



注：1) $D_0 = \frac{(b\beta + 2a - b)c_2}{2a - b}$; 2) $D_2 = \frac{(b\beta + 2a - b)c_2 - b\beta c_1}{2a - b}$;
 3) 由于 $D > c_1$ (假设1), 图中无定义的区域即为 $D \leq c_1$ 对应的区域

图4 制造商 M1 和制造商 M2 之间的竞合关系

Fig. 4 Competition and cooperation between manufacturers M1 and M2

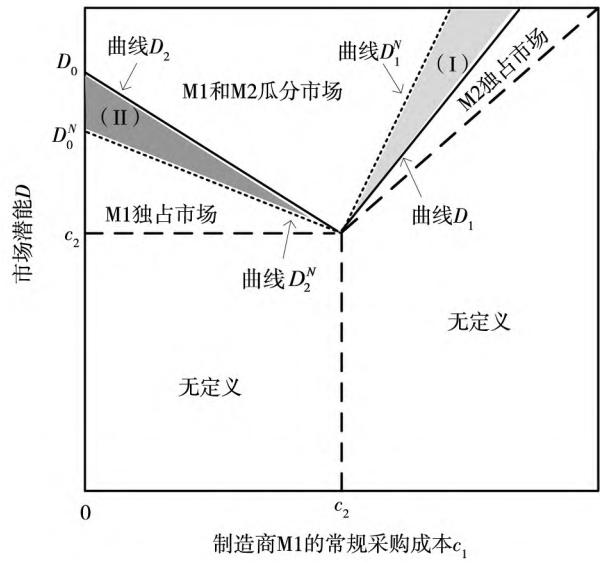
4 合作对决策的影响

下面分析合作选项的存在对市场竞争结果的影响. 令 $D_1^N = \frac{2ac_1 - bc_2}{2a - b}$, $D_2^N = \frac{2ac_2 - b\beta c_1}{2a - b\beta}$,
 $D_1 = \frac{(2b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)c_1 - (b^2\beta + 2ab - b^2)c_2}{b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2}$,
 $D_2 = \frac{(b\beta + 2a - b)c_2 - b\beta c_1}{2a - b}$, 它们分别是命题1和命题2中市场潜能的阈值. 通过比较 D_1^N 和 D_1 , D_2^N 和 D_2 , 可得推论1.

推论1 当 $c_1 \geq c_2$ 时, $D_1 < D_1^N$; 当 $c_1 < c_2$ 时, $D_2 > D_2^N$.

结合图3、图4和推论1, 可得图5. 图5表明, 与没有合作选项的情形相比, 合作的引入使产品制造商 M1 独占市场的区间扩大了 (区域 II 即为扩大的区域). 这是因为, 没有合作选项时, 制造商 M1 独占市场的本质是制造商 M2 因成本劣势出局 (此时 M2 的期望利润为零). 有合作选项时, M1 独占市场的本质是 M2 不生产产品而退化为 M1 的后备供应商, 双方由之前的竞争转为合作; 此时, M1 可以通过补货策略应对风险, M2 可以通过补货合作时的批发单价决策获得正的期望利

润, 即这种合作对双方都有好处, 双方达成了一种类似于无契约合谋均衡的状态, 因此这种状态对应的区间会扩大. 图5还表明, 与没有合作选项的情形相比, 合作的引入使集成制造商 M2 独占市场的区间缩小了 (区域 I 即为缩小的区域). 这同样是因为, M1 和 M2 之间的合作会使双方达成一种类似于无契约合谋的均衡, 因此 M2 独占市场的区间缩小. 上述结论的管理启示是: 合作的存在降低了两个制造商之间竞争的强度.



注：1) $D_1^N = \frac{2ac_1 - bc_2}{2a - b}$; 2) $D_2^N = \frac{2ac_2 - b\beta c_1}{2a - b\beta}$, $D_2 = \frac{(b\beta + 2a - b)c_2 - b\beta c_1}{2a - b}$; 3) 由于 $D > c_1$ (假设1), 图中无定义的区域即为 $D \leq c_1$ 对应的区域

图5 合作的存在对竞争结果的影响

Fig. 5 The impact of the cooperation on the outcome of competition

下面分析两个制造商之间的合作对产品制造商 M1 的常规采购数量决策的影响, 以及对集成制造商 M2 的投产数量决策的影响. 由于两个制造商之间合作的初衷是 M1 需要一个完美可靠的补货渠道以应对供应商 S 的供应中断风险, 因此直觉很容易认为, 这种补货渠道的存在必然会降低制造商 M1 对供应商 S 的依赖, 从而使 M1 向供应商 S 采购的数量减少. 然而, 结论截然相反.

命题4 与没有合作选项的情形相比, 合作选项的存在使制造商 M1 的常规采购数量增加 (即 $Q_r^* \geq Q_r^{N*}$), 同时还使制造商 M2 的投产数量减少 (即 $Q_2^* \leq Q_2^{N*}$).

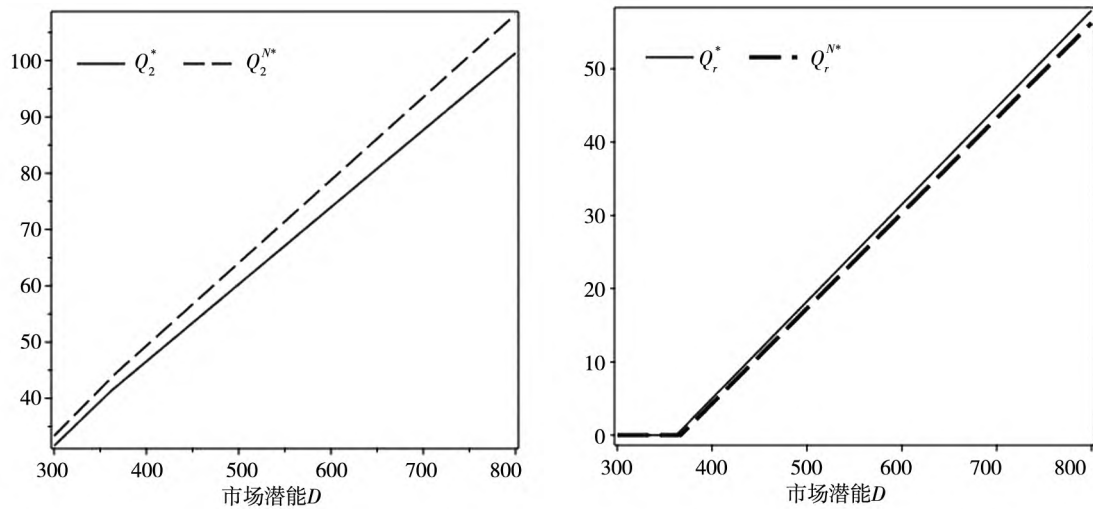
命题4背后的原因如下: 在双寡头市场中, 寡

头企业为了获得正的利润,其供给是不足的,即市场存在剩余需求.在补货时,制造商 M1 可以更好地响应该剩余需求,于是补货合作选项使 M1 产生了额外的产量.但从期望意义上来看,该额外产量并非全部由对手提供零件,M1 也会增加供应商 S 的供应量(即常规采购数量);因为这样做可以避免补货合作时对手定一个过高的批发单价.而对于制造商 M2 而言,其减少投产数量本质上是对 M1 增加常规采购数量的策略性反应.然而即便如此,从期望意义上来看,制造商 M2 还可以通过补货合作时的批发单价决策获得额外的利润,因此补货合作选项对双方都是有利的,即双方

通过补货合作,能达成类似于无契约合谋的均衡.

值得注意的是,既往关于供应风险管理的研究(如文献[23, 24, 34, 35])一致认为,当企业拥有应对主供应商供应风险的紧急补货选项之后,主供应商获得的订货量会减少.然而命题 4 表明,供应链竞争与合作的引入产生了区别于既往供应风险管理领域经典研究结论的结果.

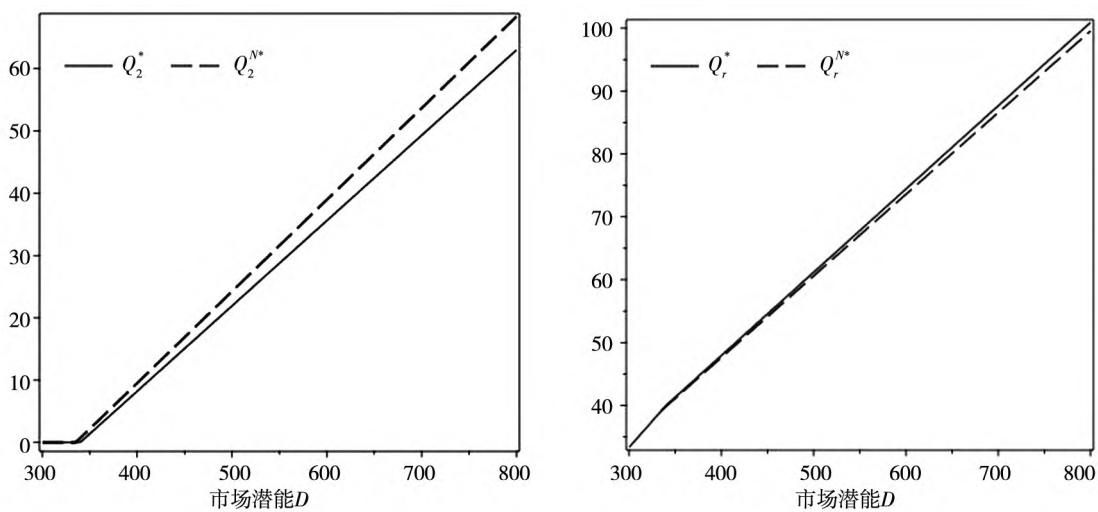
命题 4 背后的管理启示是:两个竞争性制造商之间的补货合作具有向上的溢出效应——使上游的供应商获得的订货量增加.为进一步验证命题 4,本文还做了相应的数值分析,详见图 6 和图 7.



注: 参数取值为 $a = 3, b = 1.5, \beta = 0.6, c_1 = 300, c_2 = 100$

图 6 $c_1 \geq c_2$ 时合作选项对产量决策的影响

Fig. 6 The impacts of cooperation option on quantity decisions when $c_1 \geq c_2$



注: 参数取值为 $a = 3, b = 1.5, \beta = 0.6, c_1 = 100, c_2 = 300$

图 7 $c_1 < c_2$ 时合作选项对产量决策的影响

Fig. 7 The impacts of cooperation option on quantity decisions when $c_1 < c_2$

下面分析两个制造商之间的合作对总产量的影响,可得命题5.

命题5 与没有合作选项的情形相比,合作选项的存在使两个制造商投放到市场的产品总量增加,即 $Q_1^* + Q_2^* > Q_1^{N*} + Q_2^{N*}$.

命题5背后的原因如下:无合作选项模型是一个静态的产量决策模型,有合作选项模型是一个两阶段(即动态)的产量决策模型.而在双寡头市场中,寡头企业为了获得正的利润,会导致供给不足即市场存在剩余需求;于是当产品制造商补货时,作为面对该剩余需求的企业,它可以更好地响应该剩余需求,从而导致了额外的产量.因此,与无合作选项的情形相比,补货合作选项的存在使两个制造商投放到市场的产品总量增加.

值得注意的是,既往关于供应链竞争与合作

的研究(如文献[19, 20, 22])认为,两条供应链之间的合作会降低竞争的强度从而使投放到市场的产品数量减少,即合作使双方达成了一种类似于无契约合谋的均衡.但命题5表明,尽管本研究的模型也会导致这种类似于无契约合谋的均衡(即 $E(Q_b^*) \geq 0$ 且 $Q_2^* \leq Q_2^{N*}$),但两个制造商投放到市场的产品总量却增加;换言之,因供应风险而导致的两阶段竞合,产生了明显区别于单阶段竞合的研究结论.

值得注意的是,市场上投放的产品总量越高,产品的市场价格越低.因此,命题5背后的管理启示是:两个竞争性制造商之间的补货合作具有向下的溢出效应——降低了市场价格从而提高了消费者剩余.为进一步验证命题5,本研究还做了相应的数值分析,详见图8.

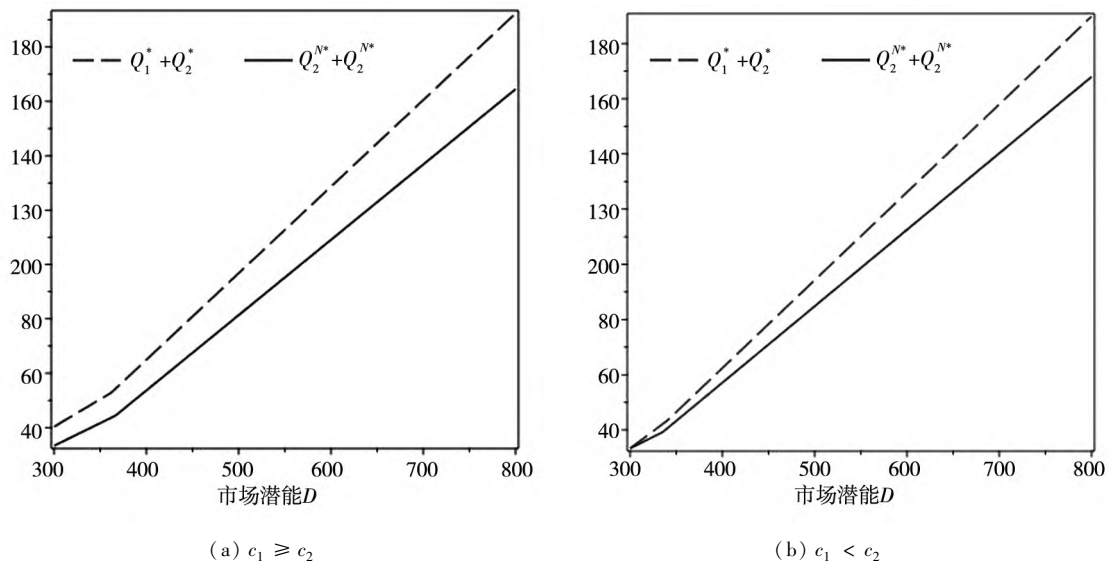


图8 合作选项对产品总产量的影响

Fig. 8 The impact of cooperation option on total output

5 结束语

研究了两个制造商之间的产品竞争与供货合作问题,其中一个制造商既可以制造零件也可以制造产品(称之为“集成制造商”),另一个制造商则需从外部采购零件以制造产品(称之为“产品制造商”).产品制造商上游的供应商具有随机中断风险,集成制造商生产零件时完美可靠,在供应商的随机中断发生之后,产品制造商可以从对手

处对零件进行补货(即后备供货合作).

研究发现,在上游供应商获得订单且发生供应中断的前提下,两个制造商之间的供货合作一定会达成,这意味着补货合作选项的存在具有风险应对效应.然而从总体上来看,两个制造商之间的竞争与合作既可能共存,也可能互斥.具体而言,若产品制造商具有成本优势且市场潜能较小,则两个制造商只合作不竞争,即产品制造商独占市场而集成制造商退化为后备供应商;若集成制造商具有成本优势且市场潜能较小,则两个制造

商只竞争不合作,即集成制造商独占市场而产品制造商被挤出市场;在其他条件下,两个制造商之间的竞争与合作共存,即两个制造商瓜分市场的同时集成制造商也为产品制造商提供补货帮助.研究还发现,与没有合作选项的情形相比,合作的引入使产品制造商独占市场的区间扩大,使集成制造商独占市场的区间缩小.有趣的是,既往关于供应风险管理的相关研究(如文献[38, 39])一致认为,当企业拥有应对主供应商供应风险的紧急补货选项之后,主供应商获得的订货量会减少.然而本研究在引入供应链竞争之后,得到了不同的结论:补货合作选项的存在使具有随机中断风险的上游供应商获得的订货量增加,即两个制造商之间的合作具有向上的溢

出效应.这是因为,补货选项可以使制造商 M1 更好地响应寡头市场中的剩余需求,从而产生额外的产量;然而从期望意义上来看,该额外产量并非全部由对手提供零件,产品制造商也会增加常规采购数量以避免补货时对手将批发单价定得过高.除此之外,既往关于供应链竞争与合作的研究(如文献[19, 20, 22])认为,两条供应链间的合作会降低竞争的强度从而使投放到市场的产品数量减少;然而,本研究在引入供应风险之后得到了不同的结论:与没有合作选项的情形相比,合作的存在使两个制造商投放到市场的产品总量增加,即两个竞争性制造商之间的补货合作还具有向下的溢出效应——降低了市场价格从而提高了消费者剩余.

参考文献:

- [1] Kleindorfer P R, Saad G H. Managing disruption risks in supply chains[J]. *Production and Operations Management*, 2005, (14): 53 – 68.
- [2] 张金梁. LCD 被断货,三星硬着头皮找 LG Display 帮忙[EB/OL]. <https://news.zol.com.cn/622/6225636.html>, 2017.
Zhang Jinliang. LCD is out of stock, Samsung asks LG Display for help[EB/OL]. <https://news.zol.com.cn/622/6225636.html>, 2017.
- [3] 曾能民, 黄河, 徐鸿雁. 典型风险环境下供应链运作策略研究[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2020.
Zeng Nengmin, Huang He, Xu Hongyan. *Operational Strategies for Supply Chains with Typical Risks*[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2020. (in Chinese)
- [4] Babich V, Burnetas A N, Ritchken P H. Competition and diversification effects in supply chains with supplier default risk[J]. *Manufacturing Service Oper. Management*, 2007, 9(2): 123 – 146.
- [5] Tomlin B. Disruption-management strategies for short life-cycle products[J]. *Naval Research Logistics*, 2009, 56(4): 318 – 347.
- [6] Saghafian S, Van Oyen M P. The value of flexible backup suppliers and disruption risk information: Newsvendor analysis with recourse[J]. *IEE Transactions*, 2012, 44(10): 834 – 867.
- [7] Yang Z, Aydin G, Babich V, et al. Using a dual-sourcing option in the presence of asymmetric information about supplier reliability: Competition vs. diversification[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2012, 14(2): 202 – 217.
- [8] Chen K, Yang L. Random yield and coordination mechanisms of a supply chain with emergency backup sourcing[J]. *International Journal of Production Research*, 2014, 52(16): 4747 – 4767.
- [9] Huang H, Xu H. Dual sourcing and backup production: Coexistence versus exclusivity[J]. *Omega*, 2015, (57): 22 – 33.
- [10] Guo S, Zhao L, Xu X. Impact of supply risks on procurement decisions[J]. *Annals of Operations Research*, 2016, 241(1 – 2): 411 – 430.
- [11] 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.
Li Xinjun, Wang Jianjun, Da Qingli. Decision analysis of backup supplier for supply disruptions with stochastic demand[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2016, 24(7): 63 – 71. (in Chinese)

- [12] Yin Z, Wang C. Strategic cooperation with a backup supplier for the mitigation of supply disruptions[J]. *International Journal of Production Research*, 2018, 56(12): 4300–4312.
- [13] Nejad A E, Niroomand I, Kuzgunkaya O. Responsive contingency planning in supply risk management by considering congestion effects[J]. *Omega*, 2014, (48): 19–35.
- [14] Gheibi S, Fay S. The impact of supply disruption risk on a retailer's pricing and procurement strategies in the presence of a substitute product[J]. *Journal of Retailing*, 2021, 97(3): 359–376.
- [15] 刘纯霞, 陈友余, 汪寿阳. 运营中断风险下企业营业中断保险购买策略研究[EB/OL]. *中国管理科学*: 1–13[2021–10–21]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2020.1048>.
Liu Chunxia, Chen Youyu, Wang Shouyang. Purchase Strategy of Business Interruption Insurance Under the Risk of Operational Interruption[EB/OL]. *Chinese Journal of Management Science*: 1–13[2021–10–21], <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2020.1048>.
- [16] Kafi F, Fatemi Ghomi S M T. A game-theoretic model to analyze value creation with simultaneous cooperation and competition of supply chain partners[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, (2014): 1–10.
- [17] Bengtsson M, Kock S. “Coopetition” in business networks to cooperate and compete simultaneously[J]. *Industrial Marketing Management*, 2000, 29(5): 411–426.
- [18] Gnyawali D R, He J, Madhavan R. Impact of co-opetition on firm competitive behavior: An empirical examination[J]. *Journal of Management*, 2006, 32(4): 507–530.
- [19] Pun H. Supplier selection of a critical component when the production process can be improved[J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, (154): 127–135.
- [20] Niu B, Wang Y, Guo P. Equilibrium pricing sequence in a co-opetitive supply chain with the ODM as a downstream rival of its OEM[J]. *Omega*, 2015, (57): 249–270.
- [21] Luo Z, Chen X, Wang X. The role of co-opetition in low carbon manufacturing[J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 253(2): 392–403.
- [22] Hafezalkotob A. Competition, cooperation, and coopetition of green supply chains under regulations on energy saving levels[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2017, (97): 228–250.
- [23] Niu B, Chen K, Fang X, et al. Technology specifications and production timing in a co-opetitive supply chain[J]. *Production and Operations Management*, 2019, 28(8): 1990–2007.
- [24] Hsu V N, Xiao W, Xu J. The impact of tax and transfer pricing on a multinational firm's strategic decision of selling to a rival[J]. *Production and Operations Management*, 2019, 28(9): 2279–2290.
- [25] 曾能民, 曾冬玲, 何青. 竞争还是合作? ——考虑顾客异质质量偏好下的双寡头企业均衡策略研究[J]. *管理评论*, 2020, 32(12): 253–262.
Zeng Nengmin, Zeng Dongling, He Qing. Compete or cooperate?: Equilibrium for duopoly manufacturers under heterogeneous market[J]. *Business Review*, 2020, 32(12): 253–262. (in Chinese)
- [26] Feng L I N, Xibei Q I N, Xujin P U, et al. Effects of in-house production on channel structures in a co-opetitive supply chain under supply uncertainty[J]. *Omega*, 2021, (103): 1–15.
- [27] Lee H, Whang S. The impact of the secondary market on the supply chain[J]. *Management Science*, 2002, 48(6): 719–731.
- [28] Wei T, Kan J, Zi-gang Z. Supply Chain Coordination Study Based on Retailers' Inventory Transshipment Via EMarket Place[C]//2007 International Conference on Management Science and Engineering, Harbin: IEEE, 2007: 1019–1024.
- [29] Summerfield N S, Dror M. Stochastic programming for decentralized newsvendor with transshipment[J]. *International Journal of Production Economics*, 2012, 137(2): 292–303.
- [30] Çömez N, Stecke K E, Çakanyıldırım M. In-season transshipments among competitive retailers[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2012, 14(2): 290–300.
- [31] 但斌, 贺庆仁, 李宇雨. 易逝品多销售阶段预防性横向调拨与订货决策模型[J]. *管理工程学报*, 2017, 31(1): 133–141.

- Dan Bin, He Qingren, Li Yuyu. Decision-making model of preventive lateral transshipment and ordering for perishable product in multi periods[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2017, 31(1): 133 – 141. (in Chinese)
- [32] Dehghani M, Abbasi B. An age-based lateral-transshipment policy for perishable items[J]. International Journal of Production Economics, 2018, (198): 93 – 103.
- [33] 万 鹏, 戢守峰, 张吉善, 等. 两次订购机会下考虑需求信息更新的横向转运库存策略[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(4): 932 – 945.
- Wan Peng, Ji Shoufeng, Zhang Jishan, et al. Lateral transshipment inventory strategy in two-retailer supply chain with two ordering opportunities and demand information update[J]. System Engineering: Theory & Practice, 2021, 41(4): 932 – 945. (in Chinese)
- [34] Yang Z, Aydın G, Babich V, et al. Supply disruptions, asymmetric information, and a backup production option[J]. Management Science, 2009, 55(2): 192 – 209.
- [35] Qi L. A continuous-review inventory model with random disruptions at the primary supplier[J]. European Journal of Operational Research, 2013, 225(1): 59 – 74.
- [36] Lahiri A, Dey D. Effects of piracy on quality of information goods[J]. Management Science, 2013, 59(1): 245 – 264.
- [37] Guo L, Iyer G. Multilateral bargaining and downstream competition[J]. Marketing Science, 2013, 32(3): 411 – 430.
- [38] Yang Z, Aydın G, Babich V, et al. Supply disruptions, asymmetric information, and a backup production option[J]. Management Science, 2009, 55(2): 192 – 209.
- [39] Chen K, Xiao T. Production planning and backup sourcing strategy of a buyer-dominant supply chain with random yield and demand[J]. International Journal of Systems Science, 2015, 46(15): 2799 – 2817.
- [40] 黄 河, 曾能民, 徐鸿雁. 独占、授权还是共享? ——存在随机产出风险的高技术企业专利运作战略研究[J]. 管理科学学报, 2020, 23(6): 1 – 17.
- Huang He, Zeng Nengmin, Xu Hongyan. Monopoly, licensing or sharing?: Patent operation strategy for high-tech supplier with random yield[J]. Journal of Management Sciences in China, 2020, 23(6): 1 – 17. (in Chinese)
- [41] Fang Y, Shou B. Managing supply uncertainty under supply chain Cournot competition[J]. European Journal of Operational Research, 2015, 243(1): 156 – 176.
- [42] Wang Y, Niu B, Guo P. On the advantage of quantity leadership when outsourcing production to a competitive contract manufacturer[J]. Production and Operations Management, 2013, 22(1): 104 – 119.
- [43] 王 宇, 于 辉. 市场竞争下企业股权融资的供应链模型分析[J]. 管理科学学报, 2020, 23(1): 113 – 126.
- Wang Yu, Yu Hui. Supply chain modeling analysis of enterprise equity financing under market competition[J]. Journal of Management Sciences in China, 2020, 23(1): 113 – 126. (in Chinese)

Equilibrium decision for co-opetition supply chains with supply risk

ZENG Neng-min¹, ZENG Dong-ling², REN Ting-hai³

1. School of Economics and Management, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;
2. Business School, Heilongjiang College of Business and Technology, Harbin 150016, China;
3. School of Business Administration, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550001, China

Abstract: With the globalization of supply chains and the rapid changes in the business environment, how to deal with supply risks is one of the core issues that need to be considered in the operation management of enterprises. Considering the upstream disruption risk, the paper investigates a co-opetition problem in which an original equipment manufacturer (OEM) can replenish components from his rival, the integrated device manu-

facturer (IDM), after the random disruption of the OEM's supplier is realized. The IDM is perfectly reliable. The paper finds that, under the premise that the upstream supplier obtains the order and the supply is disrupted, the replenishment cooperation between the two manufacturers will be reached. However, from the holistic perspective, depending on the market potential, supply reliability, product substitution, and cost, the competition and cooperation between the two manufacturers may coexist or be mutually exclusive. In addition, our result is different from the results of the previous literature that the existence of backup replenishment option for downstream company reduces the order quantity obtained by the (upstream) supplier with supply risk. This paper finds that, after introducing competition and cooperation, the existence of replenishment cooperation option can increase the order quantity obtained by the upstream supplier with supply risk; that is, the cooperation between the two manufacturers has an upward spillover effect. Furthermore, the cooperation increases the total quantity of products put on the market by the two manufacturers; that is, the replenishment cooperation between the two competing manufacturers also has a downward spillover effect; reducing market prices and increasing consumer surplus.

Key words: supply chain management; competition; cooperation; supply risk

附录

命题 1 的证明:

式(1)的目标函数可进行如下化简

$$\begin{aligned} E(\pi_1^N) &= E_{\delta}[(D - aQ_1^N - bQ_2^N)Q_1^N - c_1Q_1^N] \\ &= E_{\delta}[(D - a\delta Q_r^N - bQ_2^N)\delta Q_r^N - c_1\delta Q_r^N] \\ &= \beta(-aQ_r^N - bQ_2^N + D - c_1)Q_r^N \end{aligned}$$

显然上式是一个关于 Q_r^N 的凹函数,且他的一阶条件解为 $Q_r^N = \frac{D - bQ_2^N - c_1}{2a}$, 结合约束条件 $Q_r^N \geq 0$, 得制造商 M1 的最适反应函数为

$$Q_r^N = \max\left(0, \frac{D - bQ_2^N - c_1}{2a}\right) \quad (A1)$$

式(2)的目标函数可进行如下化简

$$\begin{aligned} E(\pi_2^N) &= E_{\delta}[(D - aQ_2^N - bQ_1^N)Q_2^N - c_2Q_2^N] \\ &= E_{\delta}[(D - aQ_2^N - b\delta Q_r^N)Q_2^N - c_2Q_2^N] \\ &= (D - aQ_2^N - c_2)Q_2^N - b\beta Q_r^N Q_2^N \end{aligned}$$

显然上式是关于 Q_2^N 的凹函数,且其一阶条件解为

$$Q_2^N = \frac{D - \beta b Q_r^N - c_2}{2a}$$

结合约束条件 $Q_2^N \geq 0$, 即得制造商 M2 的最适反应函数为

$$Q_2^N = \max\left(0, \frac{D - \beta b Q_r^N - c_2}{2a}\right) \quad (A2)$$

结合式(A1)和式(A2), 即得命题 1.

证毕.

命题 2 的证明:

式(3)的目标函数可整理为

$$\pi_1 = (D - aQ_b) - bQ_2)Q_b - wQ_b$$

显然它是一个关于 Q_b 的凹函数,且一阶条件解为 $Q_b = (D - bQ_2 - w)/2$, 结合约束条件 $Q_b \geq 0$, 可得 M1 的最优补货数

量为

$$Q_b^* = \max((D - bQ_2 - w)/2, 0) \tag{A3}$$

将式(A3)代入式(5)的目标函数得

$$\pi_2 = \begin{cases} \frac{1}{2a}(-w^2 + (D + c_2)w - 2a^2Q_2^2 + b^2Q_2^2 + 2DaQ_2 - DbQ_2 - 2ac_2Q_2 + bc_2Q_2 - Dc_2), & w < D - bQ_2 \\ (D - aQ_2)Q_2 - c_2Q_2, & w \geq D - bQ_2 \end{cases}$$

显然 π_2 是一个连续函数,而且上式第一段是凹的且一阶条件解为 $w = (D + c_2)/2$,而第二段为常数,接下来分如下情况讨论:

- 1) 若 $Q_2 < \frac{D - c_2}{2b}$ 时, π_2 的第一段是一个单峰函数,第二段是一个常数,因此 $w^* = (D + c_2)/2$;
- 2) 若 $Q_2 \geq \frac{D - c_2}{2b}$, 则 π_2 的第一段单调递增,第二段是一个常数, $w^* = D - bQ_2$.

综上

$$w^* = \begin{cases} \frac{D + c_2}{2}, & Q_2 < \frac{D - c_2}{2b} \\ D - bQ_2, & Q_2 \geq \frac{D - c_2}{2b} \end{cases} \tag{A4}$$

即 $w^* = \min((D + c_2)/2, D - bQ_2)$.

为求解式(6),需分如下情况讨论:

- 1) 当 $Q_2 < \frac{D - c_2}{2b}$ 时,由式(A3)和式(A4)可知 $w^* = (D + c_2)/2$, $Q_b^* = \frac{D - 2bQ_2 - c_2}{4a}$, 此时式(6)的目标函数可进行如下化简

$$\begin{aligned} E_{\delta}(\pi_1) &= E_{\delta}[(D - aQ_1 - bQ_2)Q_1 - c_1\delta Q_r - w^*(1 - \delta)Q_b^*] \\ &= E_{\delta}(D - a(\delta Q_r + (1 - \delta)Q_b^*) - bQ_2)(\delta Q_r + (1 - \delta)Q_b^*) - c_1\delta Q_r - w^*(1 - \delta)Q_b^* \\ &= \frac{-(D - 4aQ_r - 2bQ_2 - c_2)^2\beta + 8Q_r a(D - 2c_1 + c_2)\beta + (-2bQ_2 + D - c_2)^2}{16a} \end{aligned}$$

显然上式是一个关于 Q_r 的凹函数,其一阶条件解为 $Q_r = (D - bQ_2 - c_1)/2a$, 结合约束条件 $Q_r \geq 0$, 可得 $Q_r^* = \max(0, (D - bQ_2 - c_1)/2a)$.

- 2) 当 $Q_2 \geq \frac{D - c_2}{2b}$ 时,由式(A3)和式(A4)可知 $w^* = D - bQ_2$, $Q_b^* = 0$, 此时式(6)的目标函数可进行如下化简

$$\begin{aligned} E_{\delta}(\pi_1) &= E_{\delta}[(D - aQ_1 - bQ_2)Q_1 - c_1\delta Q_r - w^*(1 - \delta)Q_b^*] \\ &= E_{\delta}(D - a(\delta Q_r + (1 - \delta)Q_b^*) - bQ_2)(\delta Q_r + (1 - \delta)Q_b^*) - c_1\delta Q_r - w^*(1 - \delta)Q_b^* \\ &= \beta Q_r(-aQ_r - bQ_2 + D - c_1) \end{aligned}$$

显然上式是一个关于 Q_r 的凹函数,其一阶条件解为 $Q_r = (D - bQ_2 - c_1)/2a$, 结合约束条件 $Q_r \geq 0$, 可得 $Q_r^* = \max(0, (D - bQ_2 - c_1)/2a)$. 综上

$$Q_r^* = \max(0, (D - bQ_2 - c_1)/2a) \tag{A5}$$

下面求解式(7),需分如下情况讨论:

- 1) 当 $Q_2 < \frac{D - c_2}{2b}$ 时,由式(A3)和式(A4)可知 $w^* = (D + c_2)/2$, $Q_b^* = \frac{D - 2bQ_2 - c_2}{4a}$, 此时式(7)的目标函数可进行如下化简

$$\begin{aligned} E_{\delta}(\pi_2) &= E_{\delta}[(D - aQ_2 - bQ_1)Q_2 + w^*(1 - \delta)Q_b^* - (Q_2 + (1 - \delta)Q_b^*)c_2] \\ &= E_{\delta}[(D - aQ_2 - b(\delta Q_r + (1 - \delta)Q_b^*))Q_2 + w^*(1 - \delta)Q_b^* - (Q_2 + (1 - \delta)Q_b^*)c_2] \\ &= \frac{1}{8a} \left[(-4b^2\beta - 8a^2 + 4b^2)Q_2^2 + (4b\beta(-2aQ_r + D - c_2) + 8(D - c_2)(a - \frac{b}{2}))Q_2 \right] - (D - c_2)^2(\beta - 1) \end{aligned}$$

2) 当 $Q_2 \geq \frac{D - c_2}{2b}$ 时,由式(A3)和式(A4)可知 $w^* = D - bQ_2, Q_b^* = 0$,此时式(7)的目标函数可进行如下化简

$$\begin{aligned} E_{\delta}(\pi_2) &= E_{\delta}[(D - aQ_2 - bQ_1)Q_2 + w^*(1 - \delta)Q_b^* - (Q_2 + (1 - \delta)Q_b^*)c_2] \\ &= E_{\delta}[(D - aQ_2 - b(\delta Q_r + (1 - \delta)Q_b^*))Q_2 + w^*(1 - \delta)Q_b^* - (Q_2 + (1 - \delta)Q_b^*)c_2] \\ &= (-b\beta Q_r - aQ_2 + D)Q_2 - Q_2c_2 \end{aligned}$$

因此

$$E_{\delta}(\pi_2) = \begin{cases} \frac{1}{8a} [(-4b^2\beta - 8a^2 + 4b^2)Q_2^2 + (4b\beta(-2aQ_r + D - c_2) + 8(D - c_2)(a - \frac{b}{2}))Q_2 - (D - c_2)^2(\beta - 1)], & Q_2 < \frac{D - c_2}{2b} \\ (-b\beta Q_r - aQ_2 + D)Q_2 - Q_2c_2, & Q_2 \geq \frac{D - c_2}{2b} \end{cases}$$

显然,上式两段都是关于 Q_2 的凹函数,且第一段的一阶条件解为 $Q_2 = \frac{-2abQ_r + (b\beta + 2a - b)(D - c_2)}{2(b^2\beta + 2a^2 - b)}$,第二段的一阶条件解为 $Q_2 = (D - b\beta Q_r - c_2)/2a$,不难发现, $\frac{-2abQ_r + (b\beta + 2a - b)(D - c_2)}{2(b^2\beta + 2a^2 - b)} < \frac{D - b\beta Q_r - c_2}{2a} < \frac{D - c_2}{2b}$,故该式第一段先增后减,第二段总是单调递减,因此上式在 $Q_2 = \frac{-2abQ_r + (b\beta + 2a - b)(D - c_2)}{2(b^2\beta + 2a^2 - b)}$ 处取得极大值,结合约束条件 $Q_2 \geq 0$,可得

$$Q_2^* = \max\left(\frac{-2abQ_r + (b\beta + 2a - b)(D - c_2)}{2(b^2\beta + 2a^2 - b)}, 0\right) \tag{A6}$$

联立式(A5)和式(A6),并把联立求解结果代入式(A3)和式(A4),即得命题 2.

证毕.

命题 3 的证明:

根据命题 2,可得附表 1.

附表 1 $E(Q_b^*)$ 的值
Attached Table 1 The value of $E(Q_b^*)$

条件		$E(Q_b^*)$
$c_1 \geq c_2$	$D \leq \frac{(2b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)c_1 - (b^2\beta + 2ab - b^2)}{b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2}$	0
	$D > \frac{(2b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)c_1 - (b^2\beta + 2ab - b^2)}{b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2}$	$\frac{\beta^2 b^2 (D - 2c_1 + c_2) + 4a\beta (D - c_2)(a - b)}{4(\beta - 2)ab^2 + 16a^3}$
$c_1 < c_2$	$D \leq \frac{(b\beta + 2a - b)c_2 - b\beta c_1}{2a - b}$	$\frac{(D - c_2)\beta}{4a}$
	$D > \frac{(b\beta + 2a - b)c_2 - b\beta c_1}{2a - b}$	$\frac{\beta^2 b^2 (D - 2c_1 + c_2) + 4a\beta (D - c_2)(a - b)}{4(\beta - 2)ab^2 + 16a^3}$

结合附表 1 和命题 2,即得命题 3.

证毕.

推论 1 的证明:

由于 $D_2 = \frac{(b\beta + 2a - b)c_2 - b\beta c_1}{2a - b}, D_1 = \frac{(2b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)c_1 - (b^2\beta + 2ab - b^2)c_2}{b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2}, D_1^N = \frac{2ac_1 - bc_2}{2a - b},$
 $D_2^N = \frac{2ac_2 - b\beta c_1}{2a - b\beta}$,于是当 $c_1 \geq c_2$ 时, $D_1 - D_1^N = \frac{2b^2(c_1 - c_2)(\beta - 1)(a - b)}{(b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2)(2a - b)} \leq 0$; 当 $c_1 < c_2$ 时,
 $D_2 - D_2^N = \frac{b^2\beta(c_1 - c_2)(\beta - 1)}{(2a - b\beta)(2a - b)} > 0.$

证毕.

命题 4 的证明:

根据命题 1、命题 2 和推论 2, 不难发现, $Q_r^* \geq Q_r^{N^*}$ 且 $Q_2^* \leq Q_2^{N^*}$.

证毕.

命题 5 的证明:

根据命题 1, 命题 2 和推论 2 可得附表 2.

附表 2 $Q_1^* + Q_2^* - Q_1^{N^*} + Q_2^{N^*}$ 的值

Attached Table 2 The value of $Q_1^* + Q_2^* - Q_1^{N^*} + Q_2^{N^*}$

条件	$Q_1^* + Q_2^* - Q_1^{N^*} + Q_2^{N^*}$
$D \leq \frac{(2b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)c_1 - (b^2\beta + 2ab - b^2)}{b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2}$	$\frac{(a-b)(b\beta + a-b)(D-c_2)}{2a(b^2\beta + 2a^2 - b^2)}$
$\frac{(2b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)c_1 - (b^2\beta + 2ab - b^2)}{b^2\beta + 4a^2 - 2ab - b^2} < D \leq \frac{2ac_1 - bc_2}{2a-b}$	v_1
$D > \frac{2ac_1 - bc_2}{2a-b}$	v_2
$D \leq \frac{2ac_2 - b\beta c_1}{2a-b\beta}$	$\frac{D-c_2}{4a}$
$\frac{2ac_2 - b\beta c_1}{2a-b\beta} < D \leq \frac{b\beta(c_2 - c_1) + (2a-b)c_2}{2a-b}$	$\frac{4a^2(c_2-D) + 4ab((D-c_1)\beta + D - c_2) - \beta b^2(3D - 2c_1 - c_2)}{16a^3 - 4ab^2\beta}$
$D > \frac{b\beta(c_2 - c_1) + (2a-b)c_2}{2a-b}$	v_2

其中

$$v_1 = \frac{(b^2\beta + 12a^2 - 12ba + 2b^2)D}{4a(b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)} + \frac{4ab\beta(c_1 - c_2) + b^2\beta(5c_2 - 6c_1) - 4a^2(2c_1 + c_2) + 2b^2(2c_1 - 3c_2) + 12c_2ba}{4a(b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)}$$

$$v_2 = \frac{[4ab(\beta - 1) - 3b^2\beta + 4a^2 + 2b^2][b^2\beta(D - 2c_1 + c_2) + 4a(D - c_2)(a - b)]}{4a(b^2\beta + 4a^2 - 2b^2)(4a^2 - b^2\beta)}$$

根据上表不难发现 $Q_1^* + Q_2^* - Q_1^{N^*} + Q_2^{N^*} \geq 0$.

证毕.