

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2025.09.009

# 考虑质量提升的供应商联盟问题的研究<sup>①</sup>

李婷婷<sup>1,2</sup>, 陈俊霖<sup>3\*</sup>

(1. 东北财经大学管理科学与工程学院, 大连 116025; 2. 辽宁省大数据管理与优化决策重点实验室, 大连 116025. 3. 中央财经大学管理科学与工程学院, 北京 100081)

**摘要:** 本文研究了由多个上游互补供应商和一个下游装配商组成的装配系统, 其中供应商对其元件进行的质量提升具有正向外部性, 即最终产品的需求可通过提升元件的质量得以提高. 互补的元件供应商可自由组成联盟进行批发价格决策和质量提升努力水平决策. 本研究在纳什稳定的概念之下, 刻画了供应商之间稳定的联盟结构与装配系统的均衡决策, 并进一步讨论了供应商质量提升的正向外部性对系统的影响. 研究结果表明, 当供应商总的质量提升效率较高时, 可形成稳定的大联盟; 否则, 将进行独立决策. 此外, 由于供应商质量提升的正向外部性, 质量提升效率较低的供应商可通过搭便车获益, 相比质量提升效率较高的供应商, 其付出较少的质量提升努力, 但获得较高的利润. 本研究最后通过数值例对供应商搭便车的行为进行了说明.

**关键词:** 分散式装配系统; 联盟; 质量提升; 搭便车

**中图分类号:** C934      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-9807(2025)09-0131-12

## 0 引 言

本研究考虑由一个下游装配商和多个上游互补供应商组成的分散式装配系统. 分散式装配系统在汽车、电子产品等制造行业中十分普遍<sup>[1]</sup>. 下游装配商从供应商处购买元件并组装成最终产品以满足市场需求, 上游元件供应商除单独与下游交互之外, 也可以组成联盟与下游进行交易. 如, 中国最大的芯片制造公司之一, 中芯国际 (SMIC), 与比利时公司 IMEC 结成联盟, 联合向德州仪器销售 90nm 芯片<sup>[2]</sup>.

元件供应商之间形成联盟的原因各异, 如获取互补资源<sup>[3]</sup>、节约运营成本和分摊风险等<sup>[4, 5]</sup>. 价格协调是元件供应商形成联盟的另一个重要原因<sup>[1, 6-8]</sup>. 在分散式装配系统中, 价格协调指供应商联盟内的成员共同为其生产的元件模块 (由联

盟内的所有供应商生产的元件组成) 制定批发价格. 供应商联盟通常制定一个较低 (相比于没有联盟时) 的批发价格, 从而从装配商处获得较高的订货量. 许多行业中都有互补供应商联盟进行价格协调的实例. 例如, 镜头制造商 Tamron 与相机机身制造商 Olympus 联盟合作进行整机的销售定价<sup>[9]</sup>; 欧派橱柜、大自然地板、雷士照明、美的集团等家居行业的制造商组成“冠军联盟”, 通过建立互补产品联盟模式实现联盟产品的整体协调定价<sup>[10]</sup>. 在关于装配系统中供应商联盟问题的相关研究中, 一些文献对价格协调<sup>[1, 6, 7]</sup> 以及价格与生产协调<sup>[8]</sup> 进行了探索, 然而, 这些研究仅考虑最终产品的市场需求与零售价格相关, 并未考虑质量对需求的影响.

实践中, 产品的市场需求不仅受到零售价格

① 收稿日期: 2020-08-03; 修订日期: 2023-08-07.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (72071221; 72571054; 71971047); 北京市社会科学基金资助项目 (17GLB036); “兴辽英才计划”青年拔尖人才项目 (XLYC2403085).

通讯作者: 陈俊霖 (1983—), 女, 四川巴中人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: chenjunlin@cufe.edu.cn

的影响,还受到产品质量的影响.当产品的零售价格给定时,质量更高的产品往往具有更高的市场需求.由于最终产品由供应商提供的元件装配而成,最终产品的质量直接取决于元件的质量水平.供应商可通过提高元件的质量水平而受益.一方面,高质量的元件可收取更高的批发价格;另一方面,高质量的元件促进最终产品的质量提高,相应地增大了市场需求,装配商为了满足增大的市场需求将向供应商增加订购的元件数量,从而带来供应商元件销量的增加.如中国著名锂电池正极材料供应商宁波容百于2017年成功开发出一种高质量的高镍三元正极材料.其下游电池生产商CATL公司通过使用这种新材料,生产出稳定性更高、容量更大的电池产品.这让CATL在2018年7月9日从宝马汽车制造商处获得40亿欧元的额外订单.宁波容百为此开辟多条新生产线以满足来自CATL的新订单需求.正如Wang和Shin<sup>[11]</sup>所述,企业倾向于从能够通过自身创新提高最终产品质量的供应商处采购元件.

本文的贡献在于,在分散式装配系统中考虑市场需求同时取决于最终产品的零售价格以及所有元件供应商的质量提升努力水平.其中,供应商的质量提升努力包括引入具有更高可靠性的新型高精度设备、引入速率更快或灵活性更高的装置以及组织培训和生产重组等<sup>[12]</sup>.值得注意的是,当一个供应商通过努力提升其元件的质量时,其他所有供应商都从最终产品的质量提升中获益.即,供应商的质量提升具有正向外部性特征.通过考虑各个供应商的质量提升效率的同质性和异质性,本研究构建两级博弈模型分析分散式装配系统中各方的均衡决策以及联盟利润的分配,并且在纳什稳定的概念下探究了供应商质量提升的正向外部性对供应商之间的稳定联盟结构与整个装配系统的均衡决策的影响.

## 1 文献综述

与本研究相关的文献有三类:第一类文献运用非合作博弈理论研究分散式装配系统中的运作管理问题;第二类文献采用合作博弈理论分析互补或可替代供应商之间的联盟形成问题;第三类则是考虑市场需求与价格和质量相关的文献.

在使用非合作博弈理论研究分散式装配系统的文献中,大多数研究关注具有外生需求的均衡决策问题,如定价和产量<sup>[13,14]</sup>、库存<sup>[15,16]</sup>、提前期<sup>[17]</sup>、生产能力<sup>[18,19]</sup>等.一些文章考虑内生市场需求,即需求与价格或质量水平相关.例如,Jiang和Wang<sup>[20]</sup>讨论了对价格敏感的不确定市场需求下,生产相同元件的供应商之间的竞争问题.Leng和Parlar<sup>[21]</sup>在市场需求对价格敏感且随机波动的情况下,分别在纳什均衡和斯塔克伯格均衡的概念下,分析了互补供应商的产量决策和装配商的零售价格决策.马士华等<sup>[22]</sup>研究了信息封闭和信息共享两种环境下多供应商对单制造商的库存博弈问题,考察了供应商决策对于零部件库存量和供应链利润分配的影响.Xiao等<sup>[23]</sup>考察了推式和拉式装配系统中装配商逆向持有供应商的股份对于装配商的最优投资策略的影响.其中,最终产品的质量与每个元件的质量密切相关且可以通过装配商的投资来提升.这一类文献没有考虑供应商之间的联盟问题.本研究与这类文献的联系在于对供应商和装配商之间博弈的建模方式是类似的.

第二类文献运用合作博弈理论研究了分散式装配系统中的联盟形成问题.这类文献的一个分支采用远视稳定的概念来刻画阻止背叛的稳定联盟结构.在远视稳定的概念下,博弈参与者能够预见因为自己的偏离而导致的其他参与者未来的一系列偏离<sup>[24]</sup>.Nagarajan和Bassok<sup>[2]</sup>分析了远视供应商之间的联盟形成问题,且主要研究了讨价还价的过程,忽略了诸如定价及订货量等具体的运作决策.Nagarajan和Sošić<sup>[1]</sup>讨论了供应商之间的联盟形成问题,并在供应商斯塔克伯格、纵向纳什和装配商斯塔克伯格三种竞争模式下分析了供应商的批发价格与装配商的零售价格的均衡结果.Sošić<sup>[25]</sup>对Nagarajan和Sošić<sup>[1]</sup>进行了拓展,研究了市场需求的不确定性对联盟结构稳定性的影响.考虑到互补供应商的质量提升努力,Li和Chen<sup>[26]</sup>采用最大一致性集这一远视稳定的概念分析了平均分配、按比例分配和Shapley值分配这三种分配规则下供应商大联盟结构和独立联盟结构的稳定性.

这类文献的另一个分支采用纳什稳定的概念来研究联盟结构的稳定性.在纳什稳定概念下,若某参与人单方面背叛其所在的联盟,则不能获得更高的利润.在外生需求服从指数分布时,Granot

和 Yin<sup>[8]</sup>采用纳什稳定的概念分别讨论了拉式和推式装配系统中互补供应商之间的联盟形成问题. He 和 Yin<sup>[7]</sup>考虑两个互补元件, 其中一个元件由垄断供应商提供, 而另一个元件则可由多个部分可替代的存在相互竞争的供应商提供. 本文研究后一个元件的供应商与垄断元件供应商的联盟形成问题. Huang 等<sup>[5]</sup>考虑了供应链面临可能会导致订单违约的随机外部冲击时, 供应商之间的联盟形成问题. 其中每个供应商可投入资金来降低随机冲击风险. 联盟内的供应商可以共享所投入的资金, 同时要公平地分配联盟的利润.

在纳什稳定概念下考虑元件质量影响最终产品需求时, 对供应商之间的联盟形成问题的相关研究仍有欠缺. 因此, 本文假设最终产品的需求依赖于销售价格和所有供应商的质量提升努力水平, 并且采用纳什稳定的概念, 分析了供应商质量提升的正向外部性对于供应商之间稳定的联盟结构的影响. 与本研究最相关的文献是 Yin<sup>[6]</sup>及 Li 和 Chen<sup>[26]</sup>. Yin<sup>[6]</sup>采用纳什稳定的概念分析了市场需求对于互补供应商之间的联盟形成的影响. 在对价格敏感的确定性需求和乘积形式的随机需求两种情形下, 分别刻画了稳定的联盟结构. 与 Yin<sup>[6]</sup>不同, 本文研究了市场需求依赖于零售价格和质量提升努力水平时, 互补供应商之间的联盟形成问题. 本研究与 Li 和 Chen<sup>[26]</sup>的关联之处在于, 均针对互补供应商的质量提升努力水平对联盟结构的稳定性的影响展开研究. 不同之处在于, Li 和 Chen<sup>[26]</sup>采用最大一致性集这一远视稳定的概念分析了大联盟结构和独立联盟结构的稳定性. 本研究在纳什稳定的概念下分析了联盟结构的稳定性, 并在供应商具有相同的质量提升效率(对称效率)的情形下, 刻画出了所有稳定的联盟

结构; 在供应商具有不同的质量提升效率(非对称效率)的情形下, 给出了大联盟结构和独立联盟结构稳定的条件.

本研究之所以采用纳什稳定的概念有以下三个原因: 首先, 远视稳定的概念要求每个供应商都能够预见因为自己的偏离而导致的其他参与者未来的一系列偏离, 这对供应商提出了以下两点要求: 第一, 所有的供应商都拥有无限的计算能力; 第二, 所有供应商的沟通都是畅通无阻的. 这两点要求较为理想化. 与此相比, 纳什稳定的概念虽是一个相对短视的概念, 但其对于供应商的计算能力和沟通条件的要求不强, 亦更贴近实践; 其次, 远视稳定的概念比较复杂, 较难得到全面的结构性质. Li 和 Chen<sup>[26]</sup>仅刻画了对称效率情形下大联盟结构和独立联盟结构的稳定性以及非对称情形下大联盟结构的稳定性. 纳什稳定的概念在全面清晰地刻画联盟结构的稳定性方面有显著优势, 可得到较为丰富的结构性质. 本研究在对称效率情形下刻画了所有联盟结构的稳定性并在非对称效率情形下刻画了大联盟结构和独立联盟结构的稳定性. 最后, 纳什均衡作为研究博弈问题的常见概念, 被广泛应用于经济学和运作管理领域的相关研究工作中<sup>[6]</sup>.

最后一类文献将产品质量视为市场需求的重要影响因素, 研究问题主要包括质量差异化产品的定价策略<sup>[27, 28]</sup>、产品质量信号传递问题<sup>[29]</sup>、最优制造/再制造决策策略<sup>[30, 31]</sup>、包含定价在内的联合决策问题<sup>[32]</sup>等. 与上述文献不同, 本研究在分散式装配系统中考察了供应商的批发价格和质量努力水平的同时决策以及装配商的零售价格的决策.

如表 1 所示, 从需求类型以及稳定性概念方面将现有文献与本研究的区别进行了对比说明.

表 1 本研究与现有研究的对比  
Table 1 The comparison between this research and the current study

文献	需求				稳定性概念
	影响因素		类型		
	价格	质量	确定型	随机型	
Nagarajan 和 Bassok <sup>[2]</sup>				√	最大一致性集
Nagarajan 和 Sošić <sup>[1]</sup>	√		√		最大一致性集; 联盟形成的均衡过程
Sošić <sup>[25]</sup>	√			√	最大一致性集; 联盟形成的均衡过程
Li 和 Chen <sup>[26]</sup>	√	√	√		最大一致性集
Granot 和 Yin <sup>[8]</sup>				√	纳什均衡;最大一致性集
Yin <sup>[6]</sup>	√		√		纳什稳定
He 和 Yin <sup>[7]</sup>	√		√		成对稳定
Huang 等 <sup>[5]</sup>	√		√		防共谋纳什稳定
本研究	√	√	√		纳什稳定

## 2 模型描述

本研究考虑由一个强势的下游装配商和  $n(n \geq 2)$  个上游供应商组成的分散式装配系统. 供应商生产互补的元件并将其销售给装配商, 装配商将  $n$  个元件组装成最终产品并在最终市场上销售. 假设一个单位的最终产品需要每种元件各一个. 记  $c_i (i = 1, \dots, n)$  为供应商  $i$  的单位生产成本,  $c_0$  为装配商的单位装配成本. 假设市场需求是确定的, 并且依赖于零售价格和所有供应商的质量提升努力水平. 参考 Gurnani 和 Erkoc<sup>[12]</sup>, 假定需求函数形式如下

$$D = a - p + \sum_{i=1}^n \delta_i e_i \quad (1)$$

其中  $a$  是基础的市场规模,  $p$  是最终产品的零售价格,  $e_i$  是第  $i$  个供应商的质量提升努力水平,  $\delta_i$  反映了第  $i$  个供应商的质量提升努力对需求的影响, 称其为质量效果因子. 假设第  $i$  个供应商的质量提升努力水平为  $e_i$  时的质量提升成本为  $k_i e_i^2/2$  (称为质量成本). 质量成本关于质量努力水平是二次形式, 这表明质量提升努力的边际成本随着努力水平增加. 将质量成本中的系数  $k_i$  称为质量成本因子.

供应商在与装配商进行博弈之前可以自由地结成联盟. 因此, 使用两级的博弈模型来刻画装配商与供应商之间的博弈问题. 在博弈的第 I 级, 供应商之间组成联盟. 基于纳什稳定的概念对联盟结构的稳定性进行分析. 在博弈的第 II 级, 装配商和供应商联盟之间进行斯塔克伯格博弈. 在第一阶段, 装配商决定边际利润. 在第二阶段, 同一联盟的供应商为该联盟生产的元件模块确定联合批发价格 (即联盟批发价格) 和模块中各个元件的质量提升努力水平.

为了描述方便, 将本研究中使用的一些符号总结如下:

- $N$ —— 供应商集合,  $N = \{1, \dots, n\}$ ;
- $w_i$ —— 第  $i$  个供应商的元件的批发价格, 其中
- $i \in N$ ;
- $e_i$ —— 第  $i$  个供应商的质量提升努力水平;
- $m$ —— 装配商的边际利润;

$p$ —— 最终产品的零售价格;

$c_i$ —— 第  $i$  个供应商的单位生产成本;

$c_0$ —— 装配商的单位装配成本;

$B$ —— 联盟结构,  $\mathcal{B} = \{B_1, \dots, B_l\}$ , 其中  $\bigcup_{i=1}^l B_i = N$ ,  $B_h \cap B_k = \emptyset (h \neq k)$ ;

$l$ —— 联盟结构  $\mathcal{B}$  中联盟的数量;

$\mathcal{B}^*$ —— 大联盟结构, 即  $\mathcal{B}^* = \{N\}$ ;

$\overline{\mathcal{B}}$ —— 独立联盟结构, 即  $\overline{\mathcal{B}} = \{\{1\}, \{2\}, \dots, \{n\}\}$ ;

$W_{B_j}$ —— 联盟  $B_j \in \mathcal{B}$  的联合批发价格, 即

$$W_{B_j} = \sum (w_i : i \in B_j);$$

$W$ —— 所有供应商 (大联盟) 的总批发价格, 即

$$W = \sum_{i=1}^n w_i = \sum_{j=1}^l W_{B_j};$$

$C_{B_j}$ —— 联盟  $B_j \in \mathcal{B}$  的生产成本, 即  $C_{B_j} =$

$$\sum (c_i : i \in B_j);$$

$C$ —— 所有供应商 (大联盟) 的总生产成本, 即

$$C = \sum_{i=1}^n c_i = \sum_{j=1}^l C_{B_j};$$

$C_0$ —— 装配商的装配成本与所有供应商的

$$\text{生产成本之和, 即 } C_0 = c_0 + \sum_{i=1}^n c_i;$$

$Q$ —— 装配商的订货量;

$\Pi_{s_j}$ —— 第  $j$  个供应商的利润;

$\Pi_{B_j}$ —— 联盟  $B_j$  的利润;

$\Pi_B$ —— 所有供应商 (大联盟) 的总利润;

$\Pi_A$ —— 装配商的利润;

$\Pi_C$ —— 装配商与所有供应商的利润之和.

## 3 给定联盟结构下的均衡决策分析

下面使用逆向归纳法来求解博弈第 II 级中的斯塔克伯格博弈问题. 考虑联盟结构  $\mathcal{B} = \{B_1, \dots, B_j, \dots, B_l\} (j=1, \dots, l)$ , 记  $|B_j|$  为联盟  $B_j$  的基数 (即联盟中的供应商数量) 并且假设各个联盟的基数分别为  $n_1, n_2, \dots, n_l$ , 则  $n_1 + n_2 + \dots + n_l = n$ . 在大联盟结构  $\mathcal{B}^*$  和独立联盟结构  $\overline{\mathcal{B}}$  中, 用单下标  $i$  来表示第  $i$  个供应商. 在其他的联盟结构中, 用双下标  $ij$  来表示联盟  $B_j$  中的第  $i$  个供应商.

给定联盟结构  $B$ , 装配商首先确定其边际利

润  $m$ , 随后每个联盟  $B_j$  确定联盟批发价格  $W_{B_j}$ , 以及联盟内每个供应商的质量提升努力水平, 即向量  $e_{B_j} = (e_{1j}, e_{2j}, \dots, e_{n_{ij}})$ . 在斯塔克伯格博弈的第二阶段, 给定装配商的边际利润  $m$ , 联盟  $B_j$  的利润函数为

$$\Pi_{B_j} = (W_{B_j} - C_{B_j})D - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_j} k_{ij} e_{ij}^2$$

其中  $D = a - p + \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^{n_j} \delta_{ij} e_{ij}$  并且  $p = W + m + c_0$ . 简便起见, 记

$$t_{ij} = \delta_{ij}^2 / 2 k_{ij}, T_{B_j} = \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij},$$

$$T = \sum_{j=1}^l T_{B_j}$$

可以证明, 当  $T_{B_j} < 1$  时,  $\Pi_{B_j}$  是关于  $W_{B_j}$  和  $e_{ij} (i = 1, \dots, n_j)$  的联合凹函数. 为了保证所有可能的联盟的利润函数都是凹函数, 本文假设条件  $T < 1$  成立. 在推论 1 的分析中将对  $T_{B_j}$  和  $T$  的直观含义进行解释.

在斯塔克伯格博弈的第一阶段, 预测到联盟  $B_j$  的最优反应函数  $W_{B_j}(m)$  和  $e_{ij}(m) (i = 1, \dots, n_j)$ , 装配商确定边际利润  $m$  以最大化自己的利润. 装配商的利润函数为

$$\Pi_A = mD = \frac{m(a - C_0 - m)}{l + 1 - 2T}$$

命题 1 刻画了在给定的联盟结构下供应商和装配商的均衡决策和利润.

**命题 1** 给定联盟结构  $\mathcal{B} = \{B_1, \dots, B_l\}$  下, 均衡下的决策和利润如下

$$1) \quad W_{B_j}^* - C_{B_j} = \frac{a - C_0}{2(l+1-2T)}, e_{ij}^* = \frac{\delta_{ij}(a - C_0)}{2k_{ij}(l+1-2T)},$$

$$m^* = \frac{a - C_0}{2}, W^* = C + \frac{l(a - C_0)}{2(l+1-2T)}, p^* = \frac{(2l+1-2T)a + (1-2T)C_0}{2(l+1-2T)},$$

其中  $j = 1, \dots, l$  且  $i = 1, \dots, n_j$ ;

$$2) \quad \Pi_{B_j}^* = \frac{(1 - T_{B_j})(a - C_0)^2}{4(l+1-2T)^2}, \Pi_B^* = \frac{(l - T)(a - C_0)^2}{4(l+1-2T)^2}, \Pi_A^* = \frac{(a - C_0)^2}{4(l+1-2T)^2},$$

其中  $j = 1, \dots, l$ .

根据命题 1 的第 1) 条, 不论各个联盟的生产

成本和质量提升成本如何,  $W_{B_j}^* - C_{B_j} (j = 1, \dots, l)$  的值彼此相等. 考虑到所有模块互补, 因此每一模块对于最终产品的重要程度一致. 这一结论与 Yin<sup>[6]</sup> 及 Granot 和 Yin<sup>[8]</sup> 中的结论是一致的. 从命题 1 可以观察到供应商的努力水平  $e_{ij}^*$  关于质量效果因子  $\delta_{ij}$  递增并且关于质量成本因子  $k_{ij}$  递减. 此外, 装配商的边际利润  $m^*$  是固定的. 这是因为装配商作为博弈的领导者具有先发优势. 因此, 无论联盟结构如何变化, 装配商都可以收取固定的边际利润. 均衡结果关于参数  $l$  和  $T$  的敏感性分析将分别在推论 2 与推论 4 中给出.

命题 1 的第 2) 条给出了各个联盟和装配商的利润, 从中可以得到以下推论.

**推论 1** 1) 给定联盟结构  $\mathcal{B} = \{B_1, \dots, B_l\}$ , 如果  $T_{B_i} \leq T_{B_j}$ , 那么  $\Pi_{B_i}^* \geq \Pi_{B_j}^*$ , 其中  $i, j = 1, \dots, l$  且  $i \neq j$ ;

2) 独立联盟结构  $\overline{\mathcal{B}}$  下, 若  $t_i \leq t_j$ , 那么  $\Pi_{s_i}^* \geq \Pi_{s_j}^*$ , 其中  $i, j = 1, \dots, l$  且  $i \neq j$ .

推论 1 的第 1) 条表明, 如果联盟  $B_i$  对应的  $T_{B_i}$  的值较低, 那么该联盟获得的利润较高. 推论 1 的第 2) 条是推论 1 的第 1) 条的特殊情形. 下面将对推论 1 的第 2) 条进行具体的解释. 对于推论 1 的第 1) 条的理解是类似的.

根据  $t_j = \delta_j^2 / 2 k_j$  可知, 较高的  $t_j$  值代表较高的质量效果因子  $\delta_j$  或较低的质量成本因子  $k_j$ , 即较高的质量提升效率. 直观上, 具有较高质量提升效率的供应商 (简称高效供应商) 将获得较高的利润. 然而, 结果却恰恰相反. 这是因为供应商的质量提升效率越高, 其质量提升成本亦越高 (供应商  $j$  的质量提升成本为  $t_j(a - C_0)^2 / 4(l + 1 - 2T)^2$ ). 产生这个反直观结果的根本原因在于供应商的质量提升努力具有正向外部性特征. 如果一个供应商提高质量提升努力水平, 所有其他供应商均可从需求提升中获益. 因此, 质量提升效率相对较低的供应商 (简称低效供应商) 可以“搭便车”, 从高效供应商为提升质量而付出的更多的努力中获益. 因此, 将  $t_{ij}$  称为联盟  $B_j$  中第  $i$  个供应商的质量提升效率因子. 类似地, 将  $T_{B_j}(T)$  为联盟  $B_j$  (供应商系统) 的质量提升效率因子. 因此, 本研究的假设  $T_{B_j} < 1$  可以看作是对质量提升效率的约束. 在  $T_{B_j} < 1$  的条件下, 联盟  $B_j$  不会在质

量提升上过度投资. 否则, 就会变成一个具有无限需求的平凡问题<sup>[33]</sup>.

下面对供应商和装配商的均衡决策和利润进行敏感性分析.

**推论 2** 对于给定的联盟结构  $\mathcal{B} = \{B_1, \dots, B_l\}$

1)  $\frac{\partial e_{ij}^*}{\partial l} \leq 0$ ,  $\frac{\partial W_{B_j}^*}{\partial l} \leq 0$ , 其中  $j = 1, \dots, l$  且  $i = 1, \dots, n_j$ ;

2)  $\frac{\partial \Pi_{B_j}^*}{\partial l} \leq 0$ ,  $\frac{\partial \Pi_A^*}{\partial l} \leq 0$ ,  $\frac{\partial \Pi_B^*}{\partial l} \leq 0$ ,  $\frac{\partial \Pi_C^*}{\partial l} \leq 0$ , 其中  $j = 1, \dots, l$ ;

3) 若  $0 \leq T \leq 1/2$ , 则  $\frac{\partial W^*}{\partial l} \geq 0$  且  $\frac{\partial p^*}{\partial l} \geq 0$ ;  
若  $1/2 < T < 1$ , 则  $\frac{\partial W^*}{\partial l} \leq 0$  且  $\frac{\partial p^*}{\partial l} \leq 0$ ;

4)  $\frac{\partial Q^*}{\partial l} \leq 0$ , 其中  $Q^* = D(p^*, e_B^*)$ .

推论 2 的第 1) 条和推论 2 的第 2) 条都是由互补供应商的分散化导致的. 具体来说, 由于质量提升努力具有正向外部性, 供应商可从其他供应商的质量提升努力中搭便车. 随着联盟数量的增加, 供应商的分散化程度增加. 因此, 联盟将降低质量提升努力水平以及批发价格, 从而使得利润降低. 推论 2 的第 3) 条表明, 联盟的数量对总批发价格的影响取决于供应商系统的质量提升效率  $T$ . 当质量提升效率较低(高)时, 总批发价格关于联盟的数量递增(减). 最后, 推论 2 的第 4) 条表明装配商的订货量关于联盟的数量递减. 这是因为当供应商系统的质量提升效率较低时, 随着联盟数量的增加, 供应商的努力水平降低并且最终产品的零售价格增加, 市场需求随之下降. 当供应商系统的质量提升效率较高时, 随着联盟数量的增加, 尽管最终产品的零售价格降低, 但其降幅小于供应商的努力水平的降幅, 因此市场需求依然随联盟数量的增加而降低.

由推论 2 可以直接得到推论 3. 推论 3 表明大联盟结构  $\mathcal{B}^*$  下所有供应商的利润之和最高, 其中  $\Pi_{\mathcal{B}}^*$  表示联盟结构  $\mathcal{B}$  下所有供应商的利润之和.

**推论 3** 令  $\mathcal{B} = \{B_1, \dots, B_l\}$  为包含至少两个非空联盟的联盟结构, 则  $\Pi_{\mathcal{B}}^* \leq \Pi_{\mathcal{B}^*}^*$ .

**推论 4** 对于给定的联盟结构  $\mathcal{B} = \{B_1, \dots,$

$B_l\}$ .

1)  $\frac{\partial W_{B_j}^*}{\partial T} \geq 0$ ;  $\frac{\partial W^*}{\partial T} \geq 0$ ,  $\frac{\partial p^*}{\partial T} \geq 0$ ,  $\frac{\partial Q^*}{\partial T} \geq 0$ ,

其中  $Q^* = D(p^*, e_B^*)$  且  $1 \leq j \leq l$ ;

2)  $\frac{\partial e_{ij}^*}{\partial \delta_{ij}} \geq 0$  且  $\frac{\partial e_{ij}^*}{\partial k_{ij}} \leq 0$ ;  $\frac{\partial e_{ij}^*}{\partial t_{kr}} \geq 0$ , 其中  $1 \leq r$ ,  $j \leq l$ ,  $1 \leq i \leq n_j$ ,  $1 \leq k \leq n_r$ , 且  $r \neq j$  或  $k \neq i$ ;

3)  $\frac{\partial \Pi_A^*}{\partial T} \geq 0$ ,  $\frac{\partial \Pi_B^*}{\partial T} \geq 0$ ,  $\frac{\partial \Pi_C^*}{\partial T} \geq 0$ ;

4)  $\frac{\partial \Pi_{B_j}^*}{\partial T_{B_k}} \geq 0$ ; 若  $f_{B_j} \geq 0$ , 则  $\frac{\partial \Pi_{B_j}^*}{\partial T_{B_j}} \geq 0$ , 若  $f_{B_j} \leq 0$ , 则  $\frac{\partial \Pi_{B_j}^*}{\partial T_{B_j}} \leq 0$ , 其中  $f_{B_j} = 3 - l + 2 \left( \sum_{k=1, k \neq j}^l T_{B_k} - T_{B_j} \right)$ ,  $1 \leq k, j \leq l$  且  $k \neq j$ .

值得注意的是, 推论 4 的第 2) 条表明供应商的努力水平关于自身的质量提升效率递增. 此外, 每个供应商的努力水平关于其他供应商的质量提升效率递增. 推论 4 的第 4) 条表明, 如果某个联盟中的供应商提高其质量提升效率, 所有其他的联盟都会从中获益, 这是由于质量提升的正向外部性导致的. 该联盟本身是否从提高其质量提升效率中获益则取决于联盟的数量以及该联盟的质量提升效率水平, 当联盟数量较少且该联盟的质量提升效率水平较低时, 该联盟可从中获益.

## 4 联盟结构的稳定性分析

本节采用纳什稳定的概念对联盟结构的稳定性进行分析. 为了分析第 I 级博弈中的联盟形成问题, 首先需要确定同一联盟中的供应商如何分配联盟利润. 在合作博弈问题中, 夏普利值法是对共同收益进行分配的一个经典方法<sup>[34]</sup>, 可保证分配方式的唯一性, 并具有对称性、有效性、冗员性和可加性等性质. 因此, 夏普利值法通常被认为是参与者用于分配共同收益的最公平的方法之一<sup>[6]</sup>.

给定联盟结构  $\mathcal{B} = \{B_1, \dots, B_l\}$ , 定义特征函数  $v_{B_j}(Z)$  ( $Z \subseteq B_j$ ) 表示在其他所有参与者都保持其在  $\mathcal{B}$  中的位置不变时, 联盟  $B_j$  的子集  $Z$  中的成员作为一个群体可以获得的利润. 命题 2 刻画了同一个联盟中的成员如何根据夏普利值分

配规则来分配联盟的利润.

**命题2** 在给定的联盟结构  $\mathcal{B} = \{B_1, \dots, B_l\}$  下, 联盟  $B_j$  中第  $i$  个供应商的夏普利值为

$$\phi_i(v_{B_j}) = \frac{\left(1 - \sum_{k=1}^{n_j} t_{kj}\right) X^2(l)}{|B_j|} + \frac{\left(\sum_{k=1}^{n_j} t_{kj} - |B_j| t_{ij}\right) X^2(l+1)}{|B_j|} \quad (2)$$

其中  $X(l) = \frac{a - c_0 - C}{2(l+1-2T)}$ ,  $j = 1, \dots, l$  并且  $i, k = 1, \dots, n_j$ .

根据命题2, 分配给联盟  $B_j$  中某个供应商的利润包括两部分: 第一部分为联盟  $B_j$  的平均利润; 第二部分取决于该供应商的质量提升效率与联盟中供应商的平均质量提升效率的差值. 注意到, 具有较低的质量提升效率的供应商得到的利润较高. 产生这个结果的原因与推论1的原因类似, 也是由于受到质量提升的正向外部性的影响.

在纳什稳定概念之下, 给定联盟结构下, 供应商仅存在两种可行的偏离行为: 一是脱离当前的联盟成为独立的供应商, 二是脱离当前的联盟并加入其它联盟, 前提是接收该供应商的联盟中的成员须因此获得更高的利润<sup>[6, 8]</sup>.

**定义1** Yin<sup>[6]</sup>、Granot 和 Yin<sup>[8]</sup> 上述纳什稳定的联盟结构需要满足以下条件: 联盟中的任一供应商不能从可行的偏离行为中严格获益.

以下, 将分两种情形讨论联盟结构的稳定性: 第一种情形, 供应商具有相同的质量提升效率; 第二种情形, 供应商具有不同的质量提升效率. 将前者称为对称效率情形, 将后者称为非对称效率情形.

#### 4.1 对称效率情形

考虑对称效率情形, 即所有供应商具有相同的质量提升效率的情形. 记  $t_{ij} = t$  ( $j = 1, \dots, l$  且  $i = 1, \dots, n_j$ ). 命题3刻画了联盟结构纳什稳定的充要条件.

**命题3** 在对称效率情形下, 给定联盟结构  $\mathcal{B} = \{B_1, \dots, B_l\}$ , 不失一般性, 假设  $|B_1| \leq \dots \leq |B_l|$ . 联盟结构  $\mathcal{B}$  纳什稳定当且仅当以下两个条件成立

1) 若  $\mathcal{B}$  中存在独立的供应商, 则

$$|B_2| + 1 \geq \frac{(l+1-2nt)^2}{(1-t)(l-2nt)^2 + t(l+1-2nt)^2},$$

2) 若  $\mathcal{B}$  中存在非独立的供应商, 则

$$|B_l| \leq \frac{(l+2-2nt)^2}{(1-t)(l+1-2nt)^2 + t(l+2-2nt)^2}.$$

命题3的条件1)保证了独立的供应商不加入其它联盟, 条件2)则保证了非独立的供应商不偏离原来的联盟结构成为独立的供应商. 此外, 根据命题2, 如果最大的联盟  $B_l$  (包含供应商的数量最多的联盟) 中的供应商脱离当前联盟而加入其他联盟, 那么其他联盟中的供应商的利润将降低. 因此, 其他联盟不会接受最大联盟中的供应商加入.

以下命题4刻画了对称效率情形下所有稳定的联盟结构. 简便起见, 记  $\mathcal{B}_{22} = \{B_1, \dots, B_l\}$  其中  $|B_1| = \dots = |B_l| = 2$ .

**命题4** 在对称效率情形下, 所有稳定的联盟结构如下:

1) 当  $n = 2$  时, 大联盟结构  $\mathcal{B}^*$  是唯一稳定的联盟结构;

2) 当  $n \geq 3$  时, 独立联盟结构  $\overline{\mathcal{B}}$  总是稳定的; 若  $t \geq (4n-9)/4n(n-2)$ , 大联盟结构  $\mathcal{B}^*$  稳定;

3) 当  $n = 4$  时,  $\mathcal{B}_{22}$  稳定当且仅当  $(9 - \sqrt{17})/32 \leq t < 1/4$ .

命题4表明, 当存在两个以上的供应商时, 独立联盟结构总是稳定的. 这是因为在纳什稳定概念下, 供应商仅对当前的联盟结构进行单方面的背叛. 其次, 只有两个互补供应商时, 大联盟结构总是稳定的. 当供应商的数量大于两个时, 大联盟结构仅在质量提升效率较高时稳定. 对于这个结果的理解如下. 如果某个供应商脱离大联盟成为独立的供应商, 将对批发价格、努力水平以及市场需求产生影响. 一方面, 如果供应商从大联盟中脱离进行独立决策, 若其质量提升效率比较高, 则其元件的批发价格将降低. 另一方面, 供应商从大联盟脱离将使联盟数量从1增加到2. 根据推论2, 当联盟的数量增加时, 所有供应商的努力水平和市场需求均将降低. 供应商的努力水平的降低减少了其努力成本但市场需求的降低进一步缩减了收益. 通过综合考虑脱离大联盟对批发价格、努力水平和市场需求的影响, 供应商脱离大联盟并不

能获得更高的利润. 因此, 供应商没有动力脱离大联盟进行独立决策. 此外, 由推论 2 可知, 在大联盟结构下, 供应商的努力水平和最终产品的零售价格均高于其他联盟结构. 即意味着如果供应商组成大联盟, 消费者将以更高的价格获得更高质量的产品.

命题 4 的结果可以粗略地概括为: 如果供应商的质量提升效率比较高, 所有供应商形成大联盟; 否则, 进行独立决策. 而 Li 和 Chen<sup>[26]</sup> 表明, 在对称效率情形下所有供应商总是形成大联盟. 造成结果差异的原因在于, Li 和 Chen<sup>[26]</sup> 考虑供应商远视的情形而本研究考虑供应商短视的情形. 下面针对供应商的质量提升效率较低的情形, 具体解释造成结果差异的原因. 在纳什稳定概念之下, 供应商在选择是否进行单方面偏离时, 假设其他供应商保持在联盟中的位置不变. 给定大联盟结构, 供应商有动力从大联盟结构中脱离成为独立的供应商, 于是大联盟结构不稳定. 给定独立联盟结构, 没有供应商有动力偏离独立联盟结构并与其他供应商组成联盟. 因此, 在纳什稳定概念下, 供应商总是进行独立决策. 与此不同, 在远视稳定的概念下, 给定大联盟结构, 供应商预测到如果脱离大联盟成为独立的供应商, 虽然自身利润在当下会提高, 但是其他的供应商也有动力从联盟中脱离, 最终将演变为独立联盟结构. 而供应商在独立联盟结构下的利润低于在大联盟结构下的利润, 因此, 没有供应商会偏离大联盟结构.

#### 4.2 非对称效率情形

下面考虑非对称效率的情形, 即供应商具有不同的质量提升效率的情形. 由于难以得到联盟结构纳什稳定的充要条件, 本节将重点针对大联盟结构与独立联盟结构的稳定性进行讨论. 不失一般性, 假设  $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$ .

**命题 5** 在非对称效率情形下, 大联盟结构  $\mathcal{B}^*$  和独立联盟结构  $\bar{\mathcal{B}}$  的稳定性如下

- 1) 当  $n = 2$  时,  $\mathcal{B}^*$  是唯一稳定的联盟结构;
- 2) 当  $n \geq 3$  时,  $\mathcal{B}^*$  稳定当且仅当  $T \geq (4n - 9)/4(n - 2)$ ;
- 3) 当  $n = 3$  时,  $\bar{\mathcal{B}}$  稳定当且仅当  $t_3 \leq \frac{\sqrt{2-(t_1+t_2)}[\sqrt{-(t_1+t_2)} - \sqrt{1-(t_1+t_2)}]}{2}$ ; 当  $n =$

4 时,  $\bar{\mathcal{B}}$  稳定当且仅当  $t_1 + t_2 \geq 1/5$ , 或  $t_1 + t_2 < 1/5$  且  $t_3 + t_4 \leq \frac{3 - (t_1 + t_2) - \sqrt{[1 - (t_1 + t_2)][2 - (t_1 + t_2)]}}{2}$ ;

当  $n \geq 5$  时,  $\bar{\mathcal{B}}$  总是稳定的.

命题 5 的结果与命题 4 类似, 命题 5 的结果可粗略地概括为: 在非对称效率情形下, 若供应商系统的质量提升效率较高, 供应商之间将组成大联盟; 否则, 进行独立决策. 注意到, 若某一个供应商的质量提升效率较高, 其质量提升努力所带来的收益中一部分被其他低效供应商所享有. 而供应商系统整体的质量提升效率较高时, 高效供应商被搭便车的收益比例会有所缓和. 因此, 当供应商系统的质量提升效率较高时, 所有的供应商均有动力形成大联盟. 通过对比可以发现 Li 和 Chen<sup>[26]</sup> 仅给出了非对称效率情形下大联盟结构稳定的充分条件: 所有供应商的质量提升效率较低且差别不大 ( $t_n \leq F$ , 其中  $F$  是一个依赖于参数的上界). 很显然,  $t_n \leq F$  不是远视稳定概念下大联盟结构稳定的必要条件.

推论 5 比较了大联盟结构与独立联盟结构下供应商的利润, 其中  $\pi_{s_i}^{\mathcal{B}}$  表示供应商  $i$  在联盟结构  $\mathcal{B}$  下的利润, 其中  $i = 1, \dots, n$ .

**推论 5** 1) 当  $n=2$  或  $n=3$  时,  $\pi_{s_i}^{\mathcal{B}^*} \geq \pi_{s_i}^{\bar{\mathcal{B}}}$  成立;  
2) 当  $n \geq 4$  时,  $\pi_{s_i}^{\mathcal{B}^*} \geq \pi_{s_i}^{\bar{\mathcal{B}}}$  成立当且仅当以下两个条件之一满足:

- (a)  $t_i \leq t$  成立;
- (b) 若  $t_i > t$ , 则  $t + f(t) \geq nt$  成立或  $t + f(t) < nt$  和  $t_i \leq t + f(t)$  同时成立. 其中  $t = \sum_{j=1}^n t_j/n$  且

$$f(t) = \frac{(n-1)^2(3-2nt)^2}{4n(1-nt)(n-2)(n+4-4nt)}.$$

推论 5 表明, 低效供应商在大联盟结构下的利润高于在独立联盟结构下的利润. 这是因为, 高效供应商在大联盟结构下付出更高的质量提升努力, 从而导致更低的利润. 这意味着, 大联盟结构下低效供应商的搭便车现象更加严重.

推论 6 比较了大联盟结构和独立联盟结构下供应商的利润.

**推论 6** 在非对称效率情形下, 如果大联盟结构  $\mathcal{B}^*$  稳定, 供应商在大联盟结构下的利润高



于在独立联盟结构下的利润.

为了解释说明搭便车现象,进行两组数值算例.考虑系统中包含五个供应商的情形.参数的取值如下:  $a = 50, c_0 = 2, C = 10$ .

在第一组数值算例中,  $t_i (i = 1, \cdots, 5)$  的取值分别为:  $t_1 = 0.1/2, t_2 = 0.2/2, t_3 = 0.3/2, t_4 = 0.4/2$  和  $t_5 = 0.5/2$ . 记  $\pi_i^{B*}$  和  $\pi_i^{\bar{B}}$  为供应商在大联盟结构和独立联盟结构下的利润. 记  $\xi_i^{B*}$  和  $\xi_i^{\bar{B}}$  为每个供应商在大联盟结构和独立联盟结构下的利润率(定义为每个供应商的利润与所有供应商的利润之和的比值). 表 2 总结了第一组数值

算例的结果,从中可以观察到两个现象. 首先, 供应商在大联盟结构下的利润高于在独立联盟结构下的利润;其次,前三个供应商在大联盟结构下的利润率高于在独立联盟结构下的利润率,而后两个供应商在大联盟结构下的利润率低于在独立联盟结构下的利润率. 这意味着,在大联盟结构下,高效供应商的质量提升努力所带来的收益有更高的比例被低效供应商所享有,即在大联盟结构下,低效供应商通过搭便车获得的收益更多.

表 2 第一组数值算例的结果

Table 2 The results of the first set of numerical examples

供应商	1	2	3	4	5
$t_i$	0.1/2	0.2/2	0.3/2	0.4/2	0.5/2
$\pi_i^{B*}$	88.24	80.22	72.20	64.18	56.16
$\pi_i^{\bar{B}}$	16.94	16.04	15.15	14.26	13.37
$\xi_i^{B*}$	0.244 4	0.222 2	0.200 0	0.177 8	0.155 6
$\xi_i^{\bar{B}}$	0.223 5	0.211 8	0.200 0	0.188 2	0.176 5

在第二组数值算例中,  $t_i (i = 1, \cdots, 5)$  的取值分别为:  $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = 0.03/2$  和  $t_5 = 0.8/2$ . 表 3 总结了第二组数值算例的结果. 首先,可以观察到第五个供应商在大联盟结构下的利润低于在独立联盟结构下的利润. 这意味

着,大联盟结构会损害那些非常高效的供应商的利润. 其次  $\xi_i^{B*} > \xi_i^{\bar{B}} (i = 1, \cdots, 4)$  和  $\xi_5^{B*} < \xi_5^{\bar{B}}$  成立. 这表明,与独立联盟结构相比,大联盟结构下低效供应商从高效供应商的质量提升努力中获益更多.

表 3 第二组数值算例的结果

Table 3 The results of the second set of numerical examples

供应商	1	2	3	4	5
$t_i$	0.03/2	0.03/2	0.03/2	0.03/2	0.8/2
$\pi_i^{B*}$	39.85	39.85	39.85	39.85	7.73
$\pi_i^{\bar{B}}$	13.78	13.78	13.78	13.78	8.39
$\xi_i^{B*}$	0.238 4	0.238 4	0.238 4	0.238 4	0.046 2
$\xi_i^{\bar{B}}$	0.217 0	0.217 0	0.217 0	0.217 0	0.132 2

5 结束语

本文研究了由多个互补元件供应商和一个装配商组成的装配系统,其中供应商可以通过提升元件的质量来提高最终产品的需求. 元件供应商之间可以结成联盟以更好地协调他们的批发价格决策和质量提升努力水平的决策. 本研究采用纳

什稳定的概念分析了供应商之间的联盟形成问题,并考察了供应商形成联盟进行价格和质量协调的可行性和效益. 此外,本研究考察了供应商质量提升的正向外部性如何影响供应商之间的联盟形成以及装配系统中成员的均衡决策. 结果表明质量提升效率对联盟结构和均衡决策具有重要影响. 如果供应商系统的质量提升效率较高,供应商形成大联盟;否则,进行独立决策. 由于质量提升

的正向外部性,质量提升效率较低的供应商可以通过搭便车获益,相比质量提升效率较高的供应商,其付出较少的质量提升努力,但获得较高的利润.此外,数值算例表明,大联盟结构会加剧低效供应商的搭便车现象.

本文的研究结论可为企业的具体管理实践提供启示.例如,在新能源汽车行业背景下,电池材料生产商投入成本进行质量提升,提高电池续航里程的同时兼顾安全性和轻量化.电池材料生产商进行质量改进对整个新能源产业链具有明显的正向外部性影响.根据本研究的定义,质量提升效率为相对于质量投入成本,质量改进对销量的正向影响程度.新能源汽车行业是质量提升效率较高的行业.实践中,随着新能源汽车整体质量的提升,高质量终端新能源汽车的销售价格逐年上涨的同时,市场销售量急剧攀升,带动了新能源汽车上游供应商积极进行扩产.并且,在该行业中,“一体化战略”是上游供应商积极采用的策略.例如,容百科技作为电池材料供应商,围绕高镍正极材料连续进行质量投入,先后与宁德时代、孚能、华友、格林美、蔚来等签订战略合作或者长期合作协议,以实现合作共赢.该案例对应了本文的研究结论,即若供应商系统的质量提升效率较高,供应商倾向于形成大联盟,产品的销售价格较高,并且

市场规模更大.对比而言,家电耐用品行业是质量提升效率较低的行业,近五年来,我国空调、洗衣机等耐用品零售需求较弱,年销售量基本持平.由于行业的质量提升效率较低,产业链上企业更关注如何在企业内部降低成本,而非与外部企业进行合作.例如亿田智能、海尔智家、新宝股份等家电企业纷纷提出公司战略为积极进行控本控费,聚焦内部效率优化与产品能力深化,为公司提供业绩保障.该案例对应了本文的研究结论,即在低质量提升效率的供应商系统中,供应商倾向于独立决策,其质量提升努力和产品的销售价格较低.

未来的研究可以围绕以下几个方向开展.首先,本研究中装配商和供应商采用的合同形式是批发价格合同,没有对供应商的质量提升进行激励.以后的研究可以考虑依赖于元件质量水平的批发价格合同;第二,本研究假设最终产品的市场需求是确定的线性需求.随机需求或其他形式的需求函数值得进一步讨论;第三,本研究假设每个互补元件只有唯一的供应商.实际上,同一元件可能存在多个具有竞争关系的供应商.因此,同一元件的多个供应商间的竞争值得考虑;第四,本研究得到了一些结构性性质和管理启示,但是没有利用实际的数据进行验证.后续的研究可以利用实际的数据对论文的结论进行验证.

## 参 考 文 献:

- [1]Nagarajan M, Sošić G. Coalition stability in assembly models[J]. *Operations Research*, 2009, 57(1): 131–145.
- [2]Nagarajan M, Bassok Y. A bargaining framework in supply chains: The assembly problem[J]. *Management Science*, 2008, 54(8): 1482–1496.
- [3]Bouncken R B, Fredrich V, Ritala P, et al. Coopetition in new product development alliances: Advantages and tensions for incremental and radical innovation[J]. *British Journal of Management*, 2018, 29(3): 391–410.
- [4]Özen U, Sošić G, Slikker M. A collaborative decentralized distribution system with demand forecast updates[J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 216(3): 573–583.
- [5]Huang X, Boyacı T, Gümtüş M, et al. United we stand or divided we stand? Strategic supplier alliances under order default risk[J]. *Management Science*, 2016, 62(5): 1297–1315.
- [6]Yin S. Alliance formation among perfectly complementary suppliers in a price-sensitive assembly system[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2010, 12(3): 527–544.
- [7]He Y, Yin S. Joint selling of complementary components under brand and retail competition[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2015, 17(4): 470–479.
- [8]Granot D, Yin S. Competition and cooperation in decentralized push and pull assembly systems[J]. *Management Science*, 2008, 54(4): 733–747.
- [9]He Y, Ray S, Yin S. Group selling, product durability, and consumer behavior[J]. *Production and Operations Manage-*

- ment, 2016, 25(11): 1942 – 1957.
- [10] 潘林, 马士华, 冷凯君, 等. 考虑需求交叉弹性的多对一型供应链中制造商联盟定价决策问题[J]. 管理评论, 2021, 33(10): 313 – 324.
- Pan Lin, Ma Shihua, Leng Kaijun, et al. Manufacturer optimal alliance pricing decision in many to one supply chain with cross elasticity of demand taken into account[J]. Management Review, 2021, 33(10): 313 – 324. (in Chinese)
- [11] Wang J, Shin H. The impact of contracts and competition on upstream innovation in a supply chain[J]. Production and Operations Management, 2015, 24(1): 134 – 146.
- [12] Gurnani H, Erkoc M. Supply contracts in manufacturer-retailer interactions with manufacturer-quality and retailer effort-induced demand[J]. Naval Research Logistics, 2008, 55(3): 200 – 217.
- [13] Kalkanç B, Erhun F. Pricing games and impact of private demand information in decentralized assembly systems[J]. Operations Research, 2012, 60(5): 1142 – 1156.
- [14] Li G, Li L, Liu M, et al. Impact of power structures in a subcontracting assembly system[J]. Annals of Operations Research, 2020, 291: 475 – 498.
- [15] DeCroix G A. Inventory management for an assembly system subject to supply disruptions[J]. Management Science, 2013, 59(9): 2079 – 2092.
- [16] Bollapragada R, Rao U S, Zhang J. Managing inventory and supply performance in assembly systems with random supply capacity and demand[J]. Management Science, 2004, 50(12): 1729 – 1743.
- [17] Fang X, So K C, Wang Y. Component procurement strategies in decentralized assemble-to-order systems with time-dependent pricing[J]. Management Science, 2008, 54(12): 1997 – 2011.
- [18] Roels G, Tang C S. Win-win capacity allocation contracts in coproduction and codistribution alliances[J]. Management Science, 2017, 63(3): 861 – 881.
- [19] Golmohammadi A, Tajbakhsh A, Dia M, et al. Effect of timing on reliability improvement and ordering decisions in a decentralized assembly system[J]. Annals of Operations Research, 2022, 312: 159 – 192.
- [20] Jiang L, Wang Y. Supplier competition in decentralized assembly systems with price-sensitive and uncertain demand[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2010, 12(1): 93 – 101.
- [21] Leng M, Parlar M. Game-theoretic analyses of decentralized assembly supply chains: Non-cooperative equilibria vs coordination with cost-sharing contracts[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 204(1): 96 – 104.
- [22] 马士华, 唐尧, 关旭. 供应商库存博弈对装配系统的绩效影响研究[J]. 管理科学学报, 2013, 16(11): 30 – 41.
- Ma Shihua, Tang Yao, Guan Xu. The effects of inventory game on the performance of assembly system[J]. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(11): 30 – 41. (in Chinese)
- [23] Xiao W, Li K, Fu H. Quality investment in a decentralized assembly system with backward share holding[J]. International Journal of Production Economics, 2021, 242: 108291.
- [24] Chwe M S Y. Farsighted coalitional stability[J]. Journal of Economic Theory, 1994, 63(2): 299 – 325.
- [25] Sošić G. Impact of demand uncertainty on stability of supplier alliances in assembly models[J]. Production and Operations Management, 2011, 20(6): 905 – 920.
- [26] Li T, Chen J. Alliance formation in assembly systems with quality-improvement incentives[J]. European Journal of Operational Research, 2020, 285(3): 931 – 940.
- [27] 马东升, 宋华明, 古晓宇, 等. 基于战略顾客行为的质量差异化产品定价策略[J]. 管理科学学报, 2021, 24(6): 76 – 87.
- Ma Dongsheng, Song Huaming, Gu Xiaoyu, et al. Behavior based pricing strategy of quality differentiated products[J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(6): 76 – 87. (in Chinese)
- [28] 周雄伟, 蔡丹, 李世刚, 等. 基于网络外部性和质量差异化的产品定价策略[J]. 管理科学学报, 2019, 22(8): 1 – 16.
- Zhou Xiongwei, Cai Dan, Li Shigang, et al. Monopoly pricing strategy of quality-differentiated products with network externality[J]. Journal of Management Sciences in China, 2019, 22(8): 1 – 16. (in Chinese)
- [29] 李余辉, 倪得兵, 唐小我. 双渠道条件下基于 CSR 的产品质量信号传递博弈模型[J]. 管理科学学报, 2022, 25(3): 88 – 106.

- Li Yuhui, Ni Debing, Tang Xiaowo. Signaling product quality via corporate social responsibility in dual-channel supply chains[J]. Journal of Management Sciences in China, 2022, 25(3): 88–106. (in Chinese)
- [30] Zhou Y, Xiong Y, Jin M. Less is more: Consumer education in a closed-loop supply chain with remanufacturing[J]. Omega, 2021, 101: 102259.
- [31] 谢家平, 迟琳娜, 梁 玲. 基于产品质量内生的制造/再制造最优生产决策[J]. 管理科学学报, 2012, 15(8): 12–23.
- Xie Jiaping, Chi Linna, Liang Ling. Optimal manufacturing/remanufacturing production decision based on endogenous product quality[J]. Journal of Management Sciences in China, 2012, 15(8): 12–23. (in Chinese)
- [32] Ben-Daya M, Hassini E, Bahroun Z, et al. Optimal pricing in the presence of IoT investment and quality-dependent demand[J]. Annals of Operations Research, 2023, 324: 869–892.
- [33] Tsay A A, Agrawal N. Channel dynamics under price and service competition[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2000, 2(4): 372–391.
- [34] Shapley L S. A Value for N-person Games; Kuhn H, Tucker A W, et al. Contributions to The Theory of Games (AM-28) [M]. Princeton: Princeton University Press, 1953.

## Research on supplier alliances considering quality improvement

*LI Ting-ting*<sup>1, 2</sup>, *CHEN Jun-lin*<sup>3\*</sup>

1. School of Management Science and Engineering, Dongbei University of Finance and Economics, Dalian 116025, China;
2. Key Laboratory of Liaoning Province for Data Analytics and Decision-Making Optimization, Dalian 116025, China;
3. School of Management Science and Engineering, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China

**Abstract:** This paper studies an assembly system consisting of multiple upstream complementary suppliers and a single downstream assembler, where quality improvements in the components made by the suppliers have positive externalities. Specifically, the demand of final products can be enhanced by improving the quality of components. The complementary component suppliers can freely form coalitions to determine their wholesale pricing and quality-improvement efforts. Based on the concept of Nash stability, this paper characterizes the stable coalition structure of suppliers and the equilibrium decisions of the assembly system, and further discusses the influence of positive externalities of supplier quality improvement on the system. The results show that a grand coalition forms when the overall quality improvement efficiency of suppliers is high; otherwise, the suppliers act independently. In addition, due to the positive externalities of supplier quality improvement, suppliers with low quality-improvement efficiency can benefit from free riding. Compared to suppliers with higher quality-improvement efficiency, they make less effort in quality improvement but obtain higher profits. Finally, the free-riding behavior of suppliers is illustrated through numerical examples.

**Key words:** decentralized assembly system; alliance; quality improvement; free riding