

# 控制与决策

Control and Decision

## 大型客机初创期“主供”发展模式下的关系契约协调

周金华, 朱建军, 王嵩华

引用本文:

周金华, 朱建军, 王华. 大型客机初创期“主供”发展模式下的关系契约协调[J]. *控制与决策*, 2020, 35(9): 2225–2235.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1795>

---

### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### [基于系统动力学的大型客机供应链质量管控契约优化](#)

Contracts and optimization to quality control in supply chain of large-scale passenger aircraft based on system dynamics

*控制与决策*. 2020, 35(1): 215–227 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.0649>

#### [基于碳配额政策的两级低碳供应链博弈与优化](#)

Game and optimization of a two-level low-carbon supply chain under the carbon quota policy

*控制与决策*. 2016, 31(5): 924–928 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.0372>

#### [LR-型模糊需求下供应链的质量控制与成本分担](#)

Quality control and cost sharing of the supply chain under LR-type fuzzy demand

*控制与决策*. 2016, 31(4): 678–684 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.0289>

#### [需求依赖减排水平和价格的供应链决策与协调机制](#)

Decision and coordination models for supply chain with carbon emissions reduction level and price dependent demand

*控制与决策*. 2016(3): 486–492 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2014.1981>

#### [产出和需求不确定下三级供应链契约协调模型](#)

Three-echelon supply chain contract coordination model with uncertainties of yield and demand

*控制与决策*. 2016, 31(12): 2211–2218 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2016.0214>

# 大型客机初创期“主供”发展模式下的关系契约协调

周金华<sup>1†</sup>, 朱建军<sup>1</sup>, 王翥华<sup>2</sup>

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 211106; 2. 金陵科技学院 商学院, 南京 211169)

**摘要:** 研究我国大型客机研制初创期情景下的“主供”供应链协调. 在供应商及主制造商交叉竞争条件下, 主制造商从寻求强势供应商建立合作关系入手, 设计基于专有投资的关系契约, 以线性分成合作关系带来的收益激励强势供应商与主制造商建立合作关系; 分析不同契约状态时交叉竞争供应链的均衡决策, 对关系契约的占优性、关系契约的演化等方面进行分析. 研究得出, 当关系契约能够自执行且满足强势供应商及弱主制造商的盈利预期时, 供应商接受契约, 双方合作关系达成; 当强势供应商不接受关系契约, 即无契约协调时, 双方的最优交易量及供应价格完全由市场竞争决定. 与完全竞争条件下相比, 关系契约协调时供应商成本结构对其与不同主制造商最优交易量的影响呈相反趋势, 且关系契约具有占优性, 能够协调弱主制造商及相对强势供应商建立合作关系, 并提升二者的盈利能力和竞争能力.

**关键词:** “主供”模式; 大型客机初创期; 专有投资; 关系契约; 合作关系

**中图分类号:** C931      **文献标志码:** A

**DOI:** 10.13195/j.kzyjc.2018.1795

**引用格式:** 周金华, 朱建军, 王翥华. 大型客机初创期“主供”发展模式下的关系契约协调[J]. 控制与决策, 2020, 35(9): 2225-2235.

## Relational contract coordination to the “main manufacturer supplier” mode of initial period of large passenger aircraft

ZHOU Jin-hua<sup>1†</sup>, ZHU Jian-jun<sup>1</sup>, WANG He-hua<sup>2</sup>

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China; 2. School of Business, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

**Abstract:** The paper studies the coordination of main manufacturer-suppliers supply chain under the background of weak main manufacturers in the initial period of China's large passenger aircrafts. Under the competition of multiple suppliers and manufacturers, the main manufacturer selects a strong supplier to build cooperation, designs a relational contract based on specific asset investment, and allocates the benefits derived from the cooperation linearly to incentive the strong supplier to establish cooperation with the main manufacturer. We illustrate the equilibrium decision of the competition among multiple suppliers and manufacturers under different scenarios, and then analyze the dominance and the evolution of the relational contract from different aspects. The research shows that the cooperation relationship would be established if the relational contract can be self-executing as well as the profit of weak main manufacturer and strong supplier are as expected. The optimal quantity and price are determined by the competition when the strong supplier refuses the relational contract or there is no contract coordination. The relational contract is superior comparing with perfect competition, which can coordinate the weak main manufacturer and the relatively strong supplier to establish the cooperation relationship, and improve their profitability and competitiveness.

**Keywords:** main manufacture-supplier; initial period of large passenger aircraft; specific asset investment; relational contract; cooperation

## 0 引言

“主供”模式,即“主制造商-供应商”发展模式,是民用航空制造产业在全球经济及市场化背景下,结

合行业管理水平与技术水平所确定的最优管理模式. “主供”发展模式要求主制造商除组织资源完成自身核心生产分工外,能统筹规划供应链资源以实现产

**收稿日期:** 2018-12-30; **修回日期:** 2019-04-06.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(71502073); 江苏省研究生科研创新计划项目(KYCH17\_0223); 国家建设高水平大学公派研究生项目(201806830048).

**责任编辑:** 李勇建.

<sup>†</sup>通讯作者. E-mail: zhoujh0891@163.com.

品全生命周期的供应链价值最大化。由于民用航空制造业的高投入、高风险、高新技术以及产品的高附加值特性,波音和空客公司基本垄断了相关业务市场。我国大型客机制造也实施“主供”模式,但不同于波音、空客等企业,我国的大飞机制造企业因发展较晚,还处于“主供”模式的初创期。根据产品生命周期理论,初创期指产品从研制开发到初步投放市场的时期。初创期部分关键技术落后于国际先进企业,技术研发能力以及资源集成调配能力相对不足,使得我国大型客机制造企业处于相对较弱的地位,文献[1]将其称为弱主制造商(weak main manufacturer, WM),并在他国出于政治“垄断”目的的竞争下面临种种协调合作难题。本文基于以上背景,研究设计有效的契约协调策略,旨在为我国大型客机“主供”模式初创期WM面临的协调合作难题提供可行的解决方案和理论支撑。

大型客机研制属于典型的复杂产品研制,从目前研究来看,部分研究聚焦于复杂产品研制的“主供”模式,如陈洪转等<sup>[2]</sup>以复杂产品制造的“主供”模式为研究对象,研究了主制造商与供应商之间的利益冲突及其最优合作成本分摊策略。这些研究的实质是对特定的复杂产品制造供应链进行协调,最终实现供应链及各供应链主体的利益提升。实际上,大型客机主制造商需寻求有实力的合作伙伴建立战略合作伙伴关系,以谋得自身短板提升,巩固市场地位。对于良好战略合作伙伴关系的建立,目前的研究提供了很多可行思路,契约协调是一种较为常用的策略。Nosoohi等<sup>[3]</sup>研究了制造商如何在需求随机及成本信息不确定条件下运用期权合约调整外包资源计划;Kemahlolu<sup>[4]</sup>在考虑合作伙伴的价值偏好以及预期重复谈判的条件下,研究了供应链协调;林晶等<sup>[5]</sup>研究验证了可变质量成本分摊契约在LR-型模糊需求的两级供应链质量控制中的优势;王文宾等<sup>[6]</sup>以奖惩契约机制激励具有行为外部性的多零售商供应链。这些研究均以经典的契约策略解决供应链协调难题,正如Hwang等<sup>[7-9]</sup>研究显示一样,经典契约在很多情形下的协调效果并不理想,甚至某些情景下难以实现供应链协调,尤其是供应链中很多不直接以利润为目的的非经济活动,以及部分或者全部成员拥有私人信息、绩效难以证实、信息获取成本高昂等情形下,经典契约很难发挥作用并有效地达到协调目的,而关系契约在一定程度上能够有效弥补经典契约难以协调的空白。不同于经典的正式契约,关系契约选择非正式的协商解决方式,尤其重视通过合作企业之间的相互信任等建立良好的成员关系,这使得关系契约成为协调供应链建立战略合作伙伴关系的一种有

效策略<sup>[8]</sup>。Taylor等<sup>[9]</sup>研究显示关系契约的优势,证明关系契约以关系性规则以及声誉等机制作用,并从长期内可能实现的收益约束各成员的行为。可以发现,关系契约在各方私有信息难以证实等条件下,是实现供应链协调的有效策略。从大型客机研制来看,技术密集、成本密集等特性决定了其研制流程充满很大的不确定性,加之国际化市场竞争格局的垄断特性,使得大型客机市场竞争面临巨大挑战。考虑到技术壁垒、竞争垄断等现状,关系契约为改善大型客机研制企业竞争关系提供了可能性。除契约协调外,通过专有性投资协调供应链也是学者们逐渐重视的一种策略,如Brusset等<sup>[10]</sup>认为可以通过关系专有资产投资实现对供应链的协调,这些专有投资具有不可证实性,运用博弈论研究了重复讨价还价条件下,通过关系专有性投资能够建立伙伴关系并协调供应链,殷茗等<sup>[11]</sup>研究了专有性投资对供应链信任、合作意图的影响。可以看出,以专有投资集中解决特殊问题的方式,能够使供应链各方有效实现成本、风险共担并从中获取更多收益,是实现供应链协调的有效策略。

我国大型客机制造虽也采取“主供”模式,但初创期WM的现状使其又担负了不同于成熟“主供”模式的发展任务,也面临不同的协调合作难题。这就要求我国大型客机制造“主供”模式能应对复杂多变的市场环境,行之有效的方式是寻求技术雄厚的合作伙伴建立合作关系。通过合作关系一方面降低生产运营过程中的风险,另一方面也能够为我国大型客机技术提升及部分关键零部件的国产化替代起到至关重要的作用。专有资产投资及关系契约以建立各交易方之间的合作伙伴关系规避各成员的道德风险、机会主义行为等造成的供应链利润损失,具备不同于经典契约协调供应链的优势。因此,本文研究我国大型客机初创期“主供”模式的关系契约协调,研究新意在于:1)我国大型客机初创期“主供”模式为研究选题出发点,研究WM如何从合作关系的角度设计契约协调供应链;2)以专有投资及关系契约视角协调供应商及主制造商均存在外部竞争(即多个供应商、制造商)的供应链,为我国大型客机“主供”模式初创期WM能力提升及协调合作难题提供解决思路。

## 1 问题描述与参数说明

### 1.1 关键问题描述

我国大型客机的研制生产采取“主制造商-供应商”运作模式,主制造商重点承担大型客机的研制、生产、运营、适航取证等能力建设任务。由于在某些子系统及重要部件的研发中,主制造商研发能力明显薄弱于发达国家,在部分领域还未得到FAA、EASA

的适航认证,这就造成了我国大型客机“主供”模式的WM现状<sup>[1]</sup>.由于大型客机的技术、成本密集等特性,发展大型客机离不开雄厚的技术及资金支持,外加技术壁垒等诸多政治经济因素的交互,使得大型客机制造企业存在能力差距并长期处于寡头垄断的情形.因此本文研究由两类能力不同的供应商及主制造商组成的供应链,各成员产品异质且存在交叉竞争.令 $S_x$ 代表供应商 $x$ , $M_i$ 代表主制造商 $i$ , $x \in \{a, b\}, i \in \{1, 2\}$ ,本文定义WM<sub>1</sub>为弱主制造商 $M_1$ , $S_a$ 为相对强势供应商.主制造商通过选择与相对强势供应商建立合作伙伴关系应对弱主制造商能力引起的不稳定性.对合作伙伴关系建立进行必要的关系性投资是一种有效的方式,双方通过专有投资建立的合作关系能为主制造商WM<sub>1</sub>带来收益.WM<sub>1</sub>寻求相对强势供应商建立合作关系,一方面使WM<sub>1</sub>通过与相对强势供应商的合作实现风险共担,另一方面通过合作关系学习相对强势供应商的先进技术达到提升主制造商研制能力的目的,最终缩小与国际先进水平的差距.为激励相对强势供应商 $S_a$ 与主制造商WM<sub>1</sub>建立合作关系,WM<sub>1</sub>可制定基于专有投资的关系契约,依据专有投资及盈利能力强弱将一定比例的收益线性分成给 $S_a$ 以激励其进行专有投资.由于相对强势供应商掌握某些重要的核心技术或者具备制定技术标准的权利,这些技术正是主制造商WM<sub>1</sub>亟待提升的方向,在双方交易过程中,供应商对制造商所提供的契约可以选择接受或者不接受,即供应商具备全部的议价能力,这也是主制造商能力较弱的体现.由此,双方能否合作取决于WM<sub>1</sub>的实力及 $S_a$ 的合作态度,两者均会对合作收益产生影响.

1.2 研究框架及参数说明

根据我国大型客机的研制现状,提出如图1所示的分析框架.主制造商WM<sub>1</sub>可在众多供应商中选择较有实力的相对强势供应商 $S_a$ 建立合作关系,同时为防止强势供应商 $S_a$ 的道德风险和机会主义行为,WM<sub>1</sub>可与其他与 $S_a$ 存在竞争关系的供应商交易,将这部分供应商归为 $S_b$ .同理,存在其他主制造商 $M_2$ 与WM<sub>1</sub>互为竞争关系.主制造商WM<sub>1</sub>为得到与相对强势供应商 $S_a$ 的合作机会,主要通过对相对强势供应商进行关系专有性投资以形成合作伙伴关系,此类投资通常可用于信息系统建设、资源组织等各个方面,目的是为更好地实现交易双方的交易目标提供保障<sup>[10-11]</sup>.同时,为增加相对强势供应商 $S_a$ 的合作意愿,WM<sub>1</sub>需对供应商 $S_a$ 以一定的契约进行激励.图1中, $w_{xi}$ 、 $q_{xi}$ 分别代表制造商 $i$ 与供应商 $x$ 交易的关键生产要素采购价格及产品订购量.

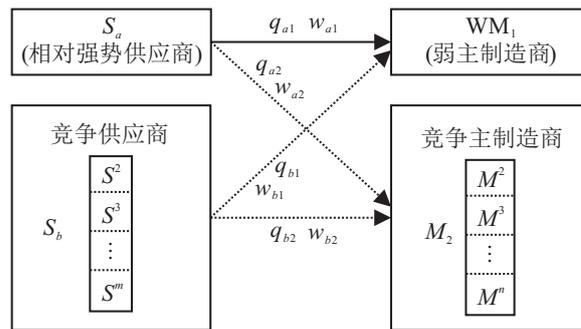


图1 结构框架

模型主要参数说明如下:

- $S_x$ : 供应商 $x, x \in \{a, b\}$ ,其中 $S_a$ 为相对强势供应商;
- $M_i$ : 为主制造商 $i, i \in \{1, 2\}$ ,WM<sub>1</sub>为弱主制造商;
- $w_{xi}$ : 制造商 $i$ 与供应商 $x$ 交易的批发价格;
- $q_{xi}$ : 主制造商 $i$ 对供应商 $x$ 的订货量;
- $p_{xi}$ : 主制造商 $i$ 采购供应商 $x$ 原材料生产单位产品的市场零售价;
- $\eta$ : 相同生产要素生产的最终产品替代系数,反映制造商竞争强度;
- $\gamma$ : 供应商产品替代系数,反映供应商竞争强度;
- $\beta$ : 产品价格弹性系数;
- $g, h$ : WM<sub>1</sub>的实力及 $S_a$ 的合作态度;
- $r_m, r_s$ : WM<sub>1</sub>及 $S_a$ 的单位产品专有投资;
- $c_x$ : 供应商 $x$ 的单位原材料生产成本;
- $\varphi$ : 线性分成比例;
- $\pi_x^t, \pi_i^t$ : 供应商 $x$ 、主制造商 $i$ 在契约 $t$ 时的收益;
- $t: t \in \{n, y\}, n, y$ 分别为无契约及契约协调.

由于存在相互竞争的供应商及主制造商,供应商因能力不同所提供的关键生产要素异质并可相互替代,存在交叉竞争<sup>[12]</sup>.主制造商生产的最终产品具有替代性,为体现产品之间替代程度对需求的影响,分别用 $\gamma$ 表示同一制造商生产不同产品的替代程度、 $\eta$ 表示不同主制造商使用同一供应商原材料生产产品的替代程度,主制造商不同产品的逆需求函数<sup>[12-13]</sup>表示为

$$p_{xi}(q) = p - \beta(q_{xi} + \eta q_{xj}) - \gamma\beta(q_{yi} + \eta q_{yj}). \quad (1)$$

其中: $p_{xi}$ 为主制造商 $i$ 采购供应商 $x$ 供应关键生产要素所生产的单位产品的市场零售价; $x, y \in \{a, b\}, i, j \in \{1, 2\}, i \neq j, x \neq y; p > 0$ 为产品的市场出清价格; $\beta > 0$ 为产品价格弹性系数; $\eta \in [0, 1)$ 为相同生产要素生产的最终产品替代系数,反映制造商竞争强度; $\gamma \in [0, 1)$ 为同一制造商使用不同供应商提供关键要素生产的最终产品替代系数,反映供应商竞争强度; $\gamma\beta \in [0, 1)$ 为不同主制造商销售的产品替代

系数. 令  $g, h$  分别代表  $WM_1$  的实力和  $S_a$  的合作态度, 参考文献[14]利用 Cobb-Douglas 生产函数度量合作收益  $\pi(r_m, r_s) : \pi(r_m, r_s) = mr_m^g r_s^h$ . 其中:  $m$  为  $WM_1$  的全要素生产率, 是主制造商技术实力的有效反应;  $r_m, r_s$  分别为  $WM_1$  及  $S_a$  的单位产品专有投资 ( $r_m > 0, r_s > 0$ ). 供应商生产关键生产要素需要投入一定的成本, 令  $c_x$  代表供应商  $x$  的单位生产成本. 根据理论及实际, 当供应商  $a$  的实力较强时, 通常其生产成本较低, 因此假定  $c_a < c_b < p$ . 本文基于以上问题, 从  $WM_1$  寻求相对强势供应商  $S_a$  建立合作关系入手, 考虑  $WM_1$  能力及  $S_a$  态度不同时, 如何在存在多重竞争条件下实现初创期大型客机“主供”供应链合作关系的建立及供应链协调.

## 2 关系契约设计及博弈分析

### 2.1 关系契约设计

由于关系契约能够在双方某些交易信息不能完全验证或者证实需要高昂的成本下, 通过自我履约机制, 使得供应链成员因预期收益的改善建立相互信任的良好成员关系, 这使得关系契约成为协调供应链建立战略合作伙伴关系的一种有效策略. 主制造商  $WM_1$  寻求某一相对强势的供应商  $S_a$  建立合作关系, 供应商将会依据与制造商合作关系是否能够带来更多的市场机遇及利润进行决策. 专有资产脱离核心交易关系就不能发挥价值或者只能发挥很少的价值, 一旦供应商接受了制造商投入专有资产的提议, 便会面临来自制造商的道德风险与机会主义行为<sup>[11]</sup>. 为了将制造商的合作意图传达给供应商并激励供应商建立合作关系, 制造商设计针对专有投资带来增益的关系契约, 承诺将此收益以一定比例分享给供应商. 但是因专有投资是各方的私有信息, 专有投资所带来的收益无法准确度量, 其内容也无法被第三方认证机构准确地证实或者证实需要高昂的成本, 供应商依然面临来自制造商的事后机会主义行为.

为了增加供应商合作态度, 制造商需采取一定措施来激励相对强势的供应商进行合作, 行之有效的措施为采取经典的正式契约. 经典契约无法有效激励存在私有信息、信息证实成本高昂或者难以有效绩效评估等问题, 如专有投资问题, 而关系契约则可弥补正式契约的不足<sup>[15]</sup>. 因此, 主制造商  $WM_1$  可设计关系契约  $T(r_m, r_s, \varphi) = \varphi\pi(r_m, r_s)$  协调, 其中  $\varphi$  为线性分成比例. 当主制造商提供契约后, 供应商根据契约内容判断制造商所提供的关系契约能否自我实施. 当制造商履约的收益大于不履约收益时, 供应商根据契约判断能否获益, 若可以获益则认为此契约有

合作价值并接受契约, 否则拒绝. 其中主制造商通过 Cournot 博弈进行产量竞争, 供应商与主制造商之间为相对强势供应商领导的 Stackelberg 博弈.

### 2.2 关系契约协调

尽管相对于强势的供应商, 制造商处于弱势地位, 但主制造商  $WM_1$  提供的关系契约对供应商而言有利可图, 那么作为理性人假设的供应商就会接受并签订契约. 只有关系契约能够自执行且能够最大化供应商利益时, 供应商才会接受主制造商  $WM_1$  提供的契约, 进一步主制造商  $WM_1$  基于合作关系的能力提升才有可能实现. 令  $\pi_x^t, \pi_i^t (t \in \{n, y\})$  分别为供应商  $x$ 、主制造商  $i$  在契约  $t$  状态 ( $n, y$ ) 分别为无契约及契约协调时的收益,  $p_{xi}^t, w_{xi}^t, q_{xi}^t$  分别为契约  $t$  状态时的市场价格、批发价格和产量. 当供应商接受关系契约  $T$  时, 供应商及主制造商收益分别为  $\pi_x^y, \pi_i^y$ , 各成员依据自身利益最大化决策, 有

$$\max \pi_a^y(w_{a1}^y, w_{a2}^y) = (w_{a1}^y - c_a - r_s + \varphi mr_m^g r_s^h) q_{a1}^y + (w_{a2}^y - c_a) q_{a2}^y, \quad (2)$$

$$\max \pi_b^y(w_{b1}^y, w_{b2}^y) = (w_{b1}^y - c_b) q_{b1}^y + (w_{b2}^y - c_b) q_{b2}^y, \quad (3)$$

$$\max \pi_1^y(q_{a1}^y, q_{b1}^y) = [p_{a1}^y - w_{a1}^y - r_m + (1 - \varphi) mr_m^g r_s^h] q_{a1}^y + (p_{b1}^y - w_{b1}^y) q_{b1}^y, \quad (4)$$

$$\max \pi_2^y(q_{a2}^y, q_{b2}^y) = (p_{a2}^y - w_{a2}^y) q_{a2}^y + (p_{b2}^y - w_{b2}^y) q_{b2}^y. \quad (5)$$

**定理1** 当相对强势供应商  $S_a$  与主制造商  $WM_1$  就合作的关系契约达成共识时, 供应链的最优订货量决策 ( $q_{a1}^{y*}, q_{b1}^{y*}, q_{a2}^{y*}, q_{b2}^{y*}$ )、最优批发价格决策 ( $w_{a1}^{y*}, w_{b1}^{y*}, w_{a2}^{y*}, w_{b2}^{y*}$ ) 及最优收益 ( $\pi_x^{y*}, \pi_i^{y*}$ ) 分别为

$$\begin{aligned} w_{a1}^{y*} &= (mr_m^g r_s^h (2 + \gamma^2 \varphi - \gamma^2 - 4\varphi) + r_m (\gamma^2 - 2) + \\ &\quad p(2 - \gamma - \gamma^2) + 2c_a + \gamma c_b + 2r_s) / (4 - \gamma^2), \\ w_{a2}^{y*} &= (p(2 - \gamma - \gamma^2) + 2c_a + \gamma c_b) / (4 - \gamma^2), \\ w_{b1}^{y*} &= (p(2 - \gamma - \gamma^2) + \gamma(r_m + r_s - mr_m^g r_s^h) + \\ &\quad \gamma c_a + 2c_b) / (4 - \gamma^2), \\ w_{b2}^{y*} &= (p(2 - \gamma - \gamma^2) + \gamma c_a + 2c_b) / (4 - \gamma^2), \\ q_{a1}^{y*} &= ((2p - p\eta)(\gamma^2 + \gamma - 2) + (\eta - 2)[(\gamma^2 - 2)c_a + \\ &\quad \gamma c_b] + (4 - 2\gamma^2)(r_m + r_s - mr_m^g r_s^h)) / \\ &\quad (\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta^2 - 4)), \\ q_{b1}^{y*} &= ((2p - p\eta)(\gamma^2 + \gamma - 2) + (\eta - 2)[\gamma c_a + \\ &\quad (\gamma^2 - 2)c_b] - 2\gamma(r_m + r_s) + 2m\gamma r_m^g r_s^h) / \\ &\quad (\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta^2 - 4)), \end{aligned}$$

$$q_{a2}^{y*} = ((2p - p\eta)(\gamma^2 + \gamma - 2) + (\eta - 2)[(\gamma^2 - 2)c_a + \gamma c_b] + \eta(\gamma^2 - 2)(r_m + r_s - mr_m^g r_s^h)) / (\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta^2 - 4)),$$

$$q_{b2}^{y*} = ((2p - p\eta)(\gamma^2 + \gamma - 2) + (\eta - 2)[\gamma c_a + (\gamma^2 - 2)c_b] + \gamma\eta(r_m + r_s) - m\gamma\eta r_m^g r_s^h) / (\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta^2 - 4)),$$

$$\pi_x^{y*}(w_{x1}^y, w_{x2}^y) = \pi_x^y(w_{x1}^{y*}, w_{x2}^{y*}),$$

$$\pi_i^{y*}(q_{ai}^y, q_{bi}^y) = \pi_i^y(q_{ai}^{y*}, q_{bi}^{y*}).$$

**证明** 由逆向归纳法和 Stackelberg 博弈规则求解. 结合式(1)可得  $\partial^2 \pi_i^y / \partial q_{xi}^{y2} = -2\beta < 0$ , 表明收益函数在决策变量取值范围内满足凸性, 因此  $\pi_i^y$  在一阶导数为零时取得极大值. 求解  $\partial \pi_i^y / \partial q_{xi}^y = 0$ , 可得

$$q_{a1}^y = -(-2p + 2p\gamma + p\eta - p\gamma\eta + 2w_{a1} - \eta w_{a2} - 2\gamma w_{b1} + \gamma\eta w_{b2}) / (\beta(-1 + \gamma^2)(-4 + \eta^2)),$$

$$q_{a2}^y = -(-2p + 2p\gamma + p\eta - p\gamma\eta - \eta w_{a1} + 2w_{a2} + \gamma\eta w_{b1} - 2\gamma w_{b2}) / (\beta(-1 + \gamma^2)(-4 + \eta^2)),$$

$$q_{b1}^y = -(-2p + 2p\gamma + p\eta - p\gamma\eta - 2\gamma w_{a1} + \gamma\eta w_{a2} + 2w_{b1} - \eta w_{b2}) / (\beta(-1 + \gamma^2)(-4 + \eta^2)),$$

$$q_{b2}^y = -(-2p + 2p\gamma + p\eta - p\gamma\eta + \gamma\eta w_{a1} - 2\gamma w_{a2} - \eta w_{b1} + 2w_{b2}) / (\beta(-1 + \gamma^2)(-4 + \eta^2)).$$

将  $q_{a1}^y, q_{b1}^y, q_{a2}^y, q_{b2}^y$  代入  $\pi_x^y$  得到

$$\frac{\partial^2 \pi_x^y}{\partial w_{xi}^{y2}} = \frac{-4}{\beta(-1 + \gamma^2)(-4 + \eta^2)} < 0,$$

因此  $\pi_x^y$  存在极大值. 求解  $\partial \pi_x^y / \partial w_{xi}^y = 0$ , 可得

$$w_{a1}^{y*} = (mr_m^g r_s^h(2 + \gamma^2\varphi - \gamma^2 - 4\varphi) + r_m(\gamma^2 - 2) + p(2 - \gamma - \gamma^2) + 2c_a + \gamma c_b + 2r_s) / (4 - \gamma^2),$$

$$w_{a2}^{y*} = (p(2 - \gamma - \gamma^2) + 2c_a + \gamma c_b) / (4 - \gamma^2),$$

$$w_{b1}^{y*} = (p(2 - \gamma - \gamma^2) + \gamma(r_m + r_s - mr_m^g r_s^h) + \gamma c_a + 2c_b) / (4 - \gamma^2),$$

$$w_{b2}^{y*} = (p(2 - \gamma - \gamma^2) + \gamma c_a + 2c_b) / (4 - \gamma^2).$$

将  $w_{a1}^{y*}, w_{a2}^{y*}, w_{b1}^{y*}, w_{b2}^{y*}$  代入  $q_{a1}^y, q_{b1}^y, q_{a2}^y, q_{b2}^y$ , 可得

$$q_{a1}^{y*} = ((2p - p\eta)(\gamma^2 + \gamma - 2) + (\eta - 2)[(\gamma^2 - 2)c_a + \gamma c_b] + (4 - 2\gamma^2)(r_m + r_s - mr_m^g r_s^h)) / (\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta^2 - 4)),$$

$$q_{b1}^{y*} = ((2p - p\eta)(\gamma^2 + \gamma - 2) + (\eta - 2)[\gamma c_a + (\gamma^2 - 2)c_b] - 2\gamma(r_m + r_s) + 2m\gamma r_m^g r_s^h) / (\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta^2 - 4)),$$

$$q_{a2}^{y*} = ((2p - p\eta)(\gamma^2 + \gamma - 2) + (\eta - 2)[(\gamma^2 - 2)c_a + \gamma c_b] + \eta(\gamma^2 - 2)(r_m + r_s - mr_m^g r_s^h)) /$$

$$(\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta^2 - 4)),$$

$$q_{b2}^{y*} = ((2p - p\eta)(\gamma^2 + \gamma - 2) + (\eta - 2)[\gamma c_a + (\gamma^2 - 2)c_b] + \gamma\eta(r_m + r_s) - m\gamma\eta r_m^g r_s^h) / (\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta^2 - 4)).$$

将最优批发价格及最优订货量分别代入式(2)~(5), 可得

$$\pi_x^{y*}(w_{x1}^y, w_{x2}^y) = \pi_x^y(w_{x1}^{y*}, w_{x2}^{y*}),$$

$$\pi_i^{y*}(q_{ai}^y, q_{bi}^y) = \pi_i^y(q_{ai}^{y*}, q_{bi}^{y*}). \quad \square$$

**定理2**

$$1) \partial w_{xi}^{y*} / \partial \beta = 0, \partial w_{xi}^{y*} / \partial \eta = 0;$$

$$2) \partial w_{xi}^{y*} / \partial c_x > 0, \partial w_{xi}^{y*} / \partial c_y > 0, \partial q_{xi}^{y*} / \partial c_x < 0, \partial q_{xi}^{y*} / \partial c_y > 0.$$

**证明** 结合定理1容易证明

$$\frac{\partial w_{xi}^{y*}}{\partial 1\beta} = 0, \frac{\partial w_{xi}^{y*}}{\partial \eta} = 0, \frac{\partial w_{xi}^{y*}}{\partial c_x} = \frac{2}{4 - \gamma^2} > 0,$$

$$\frac{\partial w_{xi}^{y*}}{\partial c_y} = \frac{\gamma}{4 - \gamma^2} > 0,$$

$$\frac{\partial q_{xi}^{y*}}{\partial c_x} = \frac{(\eta - 2)(\gamma^2 - 2)}{\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta^2 - 4)} < 0,$$

$$\frac{\partial q_{xi}^{y*}}{\partial c_y} = \frac{(\eta - 2)\gamma}{\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta^2 - 4)} > 0. \quad \square$$

定理2表明, 关系契约协调时, 供应商  $S_x$  最优批发价格不受最终产品的价格影响, 也与最终产品的替代系数无关, 只受供应商竞争程度的影响. 同时, 供应商  $S_x$  最优批发价格是其本身原材料生产成本的增函数, 是其竞争供应商成本的增函数, 主制造商最优订货量是  $S_x$  原材料成本的增函数, 是  $S_y$  原材料成本的减函数. 这表明, 较高的批发价格有助于高成本供应商保持盈利能力, 供应商的竞争对手成本越高对其越有利.

**定理3**

$$1) \frac{\partial w_{a1}^{y*}}{\partial \varphi} < 0, \frac{\partial w_{xi}^{y*}}{\partial \varphi} = 0 (i \neq 1), \frac{\partial q_{xi}^{y*}}{\partial \varphi} = 0;$$

$$2) \frac{\partial w_{x1}^{y*}}{\partial r_m} \neq 0, \frac{\partial w_{x1}^{y*}}{\partial r_s} \neq 0, \frac{\partial w_{xi}^{y*}}{\partial r_m} = 0, \frac{\partial w_{xi}^{y*}}{\partial r_s} \neq 0, i \neq 1.$$

**证明** 由定理1可得

$$\frac{\partial w_{a1}^{y*}}{\partial \varphi} = -mr_m^g r_s^h < 0,$$

$$\frac{\partial w_{a1}^{y*}}{\partial r_m} = \frac{gmr_m^{g-1} r_s^h(2 + \gamma^2\varphi - \gamma^2 - 4\varphi) + (\gamma^2 - 2)}{4 - \gamma^2} \neq 0,$$

$$\frac{\partial w_{b1}^{y*}}{\partial r_m} = \frac{\gamma(r_m - gmr_m^{g-1} r_s^h)}{4 - \gamma^2} \neq 0,$$

$$\frac{\partial w_{a1}^{y*}}{\partial r_s} = \frac{hmr_m^g r_s^{h-1}(2 + \gamma^2\varphi - \gamma^2 - 4\varphi) + 2}{4 - \gamma^2} \neq 0,$$

$$\frac{\partial w_{b1}^{y*}}{\partial r_s} = \frac{\gamma(r_s - hmr_m^g r_s^{h-1})}{4 - \gamma^2} \neq 0.$$

当  $i \neq 1$  时,  $\partial w_{xi}^{y*}/\partial \varphi = 0, \partial q_{xi}^{y*}/\partial \varphi = 0, \partial w_{x1}^{y*}/\partial r_m \neq 0, \partial w_{x1}^{y*}/\partial r_s \neq 0, \partial w_{xi}^{y*}/\partial r_m = 0, \partial w_{xi}^{y*}/\partial r_s \neq 0.$  □

定理3表明,线性分成比例  $\varphi$  只对相对强势供应商与弱主制造商之间交易的批发价格产生影响,批发价格是线性分成比例的减函数. 这表明线性分成比例主要通过调节相对强势供应商及弱主制造商之间交易的批发价格来调整双方的收益分配,弱主制造商的线性分成比例越大,批发价格越低. 从相对强势供应商与弱主制造商关系专用性投资角度分析,二者的关系专用性投资影响双方的最优批发价格,不影响其他竞争者的最优批发价格,但能够改变整个供应链成员之间的最优订货量.

2.3 关系契约协调的特征分析

分析契约不能达成时的各成员收益情况,可得到  $\pi_x^n, \pi_i^n$ . 当主制造商不考虑合作关系或者提供的关系契约被相对强势供应商拒绝时,双方只会以各方竞争综合决定双方的订货量和供应价格. 那么在无契约条件下,主制造商  $M_i$  以自身利益最大化为原则确定产量,供应商  $S_x$  依据自身利益最大化原则及主制造商的产量确定最优批发价格. 决策问题为

$$\max \pi_x^n(w_{xi}^n) = \sum_{i=1,2} (w_{xi}^n - c_x)q_{xi}^n, \quad (6)$$

$$\max \pi_i^n(q_{xi}^n) = \sum_{x=a,b} (p_{xi}^n - w_{xi}^n)q_{xi}^n. \quad (7)$$

定理4 当相对强势供应商  $S_a$  拒绝主制造商  $WM_1$  的合作意愿即关系契约时,供应链成员的最优订货量决策、批发价格决策及收益为

$$\begin{aligned} w_{a1}^{n*} &= w_{a2}^{n*} = \frac{p(2 - \gamma - \gamma^2) + 2c_a + \gamma c_b}{4 - \gamma^2}, \\ w_{b1}^{n*} &= w_{b2}^{n*} = \frac{p(2 - \gamma - \gamma^2) + \gamma c_a + 2c_b}{4 - \gamma^2}, \\ q_{a1}^{n*} &= q_{a2}^{n*} = \frac{\gamma c_b + (\gamma^2 - 2)c_a - p(\gamma^2 + \gamma - 2)}{\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta + 2)}, \\ q_{b1}^{n*} &= q_{b2}^{n*} = \frac{\gamma c_a + (\gamma^2 - 2)c_b - p(\gamma^2 + \gamma - 2)}{\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta + 2)}, \\ \pi_x^{n*}(w_{xi}^n) &= \pi_x^n(w_{xi}^{n*}), \pi_i^{n*}(q_{xi}^n) = \pi_i^n(q_{xi}^{n*}). \end{aligned}$$

证明 根据逆向归纳法和 Stackelberg 博弈规则进行求解. 结合式(1)可得

$$\begin{aligned} \pi_i^n &= \sum_{x=a,b} [p - \beta(q_{xi}^n + \eta q_{xj}^n) - \gamma\beta(q_{yi}^n + \eta q_{yj}^n) - w_{xi}^n]q_{xi}^n, \\ \frac{\partial \pi_i^n}{\partial q_{xi}^n} &= p - \beta q_{xi}^n - \beta(q_{xi}^n + \eta q_{xj}^n) - \end{aligned}$$

$$\beta\gamma q_{yi}^n - \beta\gamma(q_{yi}^n + \eta q_{yj}^n) - w_{xi}^n,$$

$$\frac{\partial^2 \pi_i^n}{\partial q_{xi}^n} = -2\beta < 0.$$

这表明收益函数  $\pi_i^n$  在决策变量取值范围内满足凸性,因此  $\pi_i^n$  在一阶导数为零时取得极大值,求解  $\partial \pi_i^n / \partial q_{xi} = 0$ ,可得

$$\begin{aligned} q_{a1}^n &= -(-2p + 2p\gamma + p\eta - p\gamma\eta + 2w_{a1} - \eta w_{a2} - 2\gamma w_{b1} + \gamma\eta w_{b2}) / (\beta(-1 + \gamma^2)(-4 + \eta^2)), \\ q_{a2}^n &= -(-2p + 2p\gamma + p\eta - p\gamma\eta - \eta w_{a1} + 2w_{a2} + \gamma\eta w_{b1} - 2\gamma w_{b2}) / (\beta(-1 + \gamma^2)(-4 + \eta^2)), \\ q_{b1}^n &= -(-2p + 2p\gamma + p\eta - p\gamma\eta - 2\gamma w_{a1} + \gamma\eta w_{a2} + 2w_{b1} - \eta w_{b2}) / (\beta(-1 + \gamma^2)(-4 + \eta^2)), \\ q_{b2}^n &= -(-2p + 2p\gamma + p\eta - p\gamma\eta + \gamma\eta w_{a1} - 2\gamma w_{a2} - \eta w_{b1} + 2w_{b2}) / (\beta(-1 + \gamma^2)(-4 + \eta^2)). \end{aligned}$$

将  $q_{a1}^n, q_{a2}^n, q_{b1}^n, q_{b2}^n$  代入  $\pi_x^n$ ,可得

$$\frac{\partial^2 \pi_x^n}{\partial w_{xi}^n} = -\frac{4}{\beta(-1 + \gamma^2)(-4 + \eta^2)} < 0,$$

因此  $\pi_x^n$  存在极大值. 求解  $\partial \pi_x^n / \partial w_{xi} = 0$ ,可得

$$\begin{aligned} w_{a1}^{n*} &= w_{a2}^{n*} = \frac{2p - p\gamma(1 + \gamma) + 2c_a + \gamma c_b}{4 - \gamma^2}, \\ w_{b1}^{n*} &= w_{b2}^{n*} = \frac{2p - p\gamma(1 + \gamma) + \gamma c_a + 2c_b}{4 - \gamma^2}. \end{aligned}$$

将  $w_{a1}^{n*}, w_{a2}^{n*}, w_{b1}^{n*}, w_{b2}^{n*}$  代入  $q_{a1}^n, q_{a2}^n, q_{b1}^n, q_{b2}^n$ ,可得

$$\begin{aligned} q_{a1}^{n*} &= q_{a2}^{n*} = \frac{\gamma c_b + (\gamma^2 - 2)c_a - p(\gamma^2 + \gamma - 2)}{\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta + 2)}, \\ q_{b1}^{n*} &= q_{b2}^{n*} = \frac{\gamma c_a + (\gamma^2 - 2)c_b - p(\gamma^2 + \gamma - 2)}{\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta + 2)}. \end{aligned}$$

将最优批发价格及最优订货量代入式(6)和(7)得到  $\pi_x^{n*}(w_{xi}^n) = \pi_x^n(w_{xi}^{n*}), \pi_i^{n*}(q_{xi}^n) = \pi_i^n(q_{xi}^{n*}).$  □

定理5 当  $WM_1$  不寻求与相对强势供应商  $S_a$  建立合作关系时,供应链所有成员的最优决策与  $S_a$  的合作意愿及  $WM_1$  的能力强弱无关,且同一供应商  $S_x$  以同一批发价格提供关键零部件给不同的主制造商  $M_i$ ,同一主制造商  $M_i$  对不同供应商  $S_x$  提供关键零部件的采购量相等.

可见,由定理4可知  $w_{a1}^{n*} = w_{a2}^{n*}, w_{b1}^{n*} = w_{b2}^{n*}, q_{a1}^{n*} = q_{a2}^{n*}, q_{b1}^{n*} = q_{b2}^{n*}$ ,定理5表明无契约协调时,供应链成员最优决策完全由市场竞争决定.

定理6

- 1)  $\partial w_{xi}^{n*} / \partial \beta = 0, \partial w_{xi}^{n*} / \partial \eta = 0;$
- 2) 当  $c_a + c_b \geq 2p$  时,  $\partial w_{a1}^{n*} / \partial \gamma = \partial w_{a2}^{n*} / \partial \gamma > 0, \partial w_{b1}^{n*} / \partial \gamma = \partial w_{b2}^{n*} / \partial \gamma < 0;$  当  $c_a + c_b < 2p$  时,  $\partial w_{a1}^{n*} / \partial \gamma < 0, \partial w_{b1}^{n*} / \partial \gamma > 0.$

证明 由定理4可得

$$\frac{\partial w_{a1}^{n*}}{\partial \gamma} = \frac{\partial w_{a2}^{n*}}{\partial \gamma} = \frac{-p(2+\gamma)^2 + 4\gamma c_a + (4+\gamma^2)c_b}{(-4+\gamma^2)^2},$$

$$\frac{\partial w_{b1}^{n*}}{\partial \gamma} = \frac{\partial w_{b2}^{n*}}{\partial \gamma} = \frac{-p(2+\gamma)^2 + (4+\gamma^2)c_a + 4\gamma c_b}{(-4+\gamma^2)^2}.$$

求解  $\partial w_{a1}^{n*}/\partial \gamma = \partial w_{a2}^{n*}/\partial \gamma > 0$  得到  $c_a + c_b \geq 2p$ , 求解  $\partial w_{b1}^{n*}/\partial \gamma = \partial w_{b2}^{n*}/\partial \gamma > 0$  得到  $c_a + c_b < 2p$ .  $\square$

由定理6可知,无契约协调时,供应商的最优批发价格不受最终产品价格弹性系数及制造商竞争强度的影响,只与供应商竞争强度有关,且当供应商的单位生产成本之和与市场出清价格满足  $c_a + c_b \geq 2$  时,相对强势供应商  $S_a$  的批发价格是供应商竞争强度  $\gamma$  的增函数,  $S_b$  的批发价格是供应商竞争强度  $\gamma$  的减函数. 反之,  $c_a + c_b < 2p$  时,相对强势供应商  $S_a$  的批发价格是供应商竞争强度  $\gamma$  的减函数,  $S_b$  的批发价格是供应商竞争强度  $\gamma$  的增函数. 这是由于供应商之间的竞争越激烈时,相对强势供应商的成本优势得以凸显,从而能在竞争中占据优势.

**定理7**  $\partial w_{xi}^{n*}/\partial c_x > 0, \partial w_{xi}^{n*}/\partial c_y > 0, \partial q_{xi}^{n*}/\partial c_x < 0, \partial q_{xi}^{n*}/\partial c_y > 0$ .

**证明** 由定理4可得

$$\frac{\partial w_{xi}^{n*}}{\partial c_x} = \frac{2}{4-\gamma^2} > 0, \frac{\partial w_{xi}^{n*}}{\partial c_y} = \frac{\gamma}{4-\gamma^2} > 0,$$

$$\frac{\partial q_{xi}^{n*}}{\partial c_x} = \frac{\gamma^2 - 2}{\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta + 2)} < 0,$$

$$\frac{\partial q_{xi}^{n*}}{\partial c_y} = \frac{\gamma}{\beta(\gamma^2 - 4)(\gamma^2 - 1)(\eta + 2)} > 0. \quad \square$$

由定理7可知,在无契约协调时,无论供应商  $S_x$  能力强弱,最优批发价格均是其本身原材料生产成本的增函数,同时也是其竞争供应商成本的增函数,这是由于供应商在自身成本较高时需要较高的批发价格来维持竞争条件下的盈利能力,而竞争对手成本较高时较高的批发价格有助于保持竞争优势;无契约协调时,主制造商最优订货量是  $S_x$  原材料成本的增函数,是  $S_y$  原材料成本的减函数,这是由于供应商  $S_x$  原材料成本较高时其批发价格也相应提升,这就促使主制造商采购其竞争对手的原材料来保持主制造商盈利能力的提升,因此在交叉竞争时供应商保持成本优势非常重要.

**定理8**

- 1)  $w_{a2}^{y*} = w_{a2}^{n*}, w_{b2}^{y*} = w_{b2}^{n*}$ ;
- 2)  $\partial w_{xi}^{t*}/\partial c_a > 0, \partial w_{xi}^{t*}/\partial c_b > 0$ ;
- 3)  $\partial q_{xi}^{y*}/\partial c_x < 0, \partial q_{xi}^{y*}/\partial c_y > 0, \partial q_{xi}^{n*}/\partial c_x > 0, \partial q_{xi}^{n*}/\partial c_y < 0, x \neq y$ .

**证明** 对比定理1和定理4可以得出  $w_{a2}^{y*} = w_{a2}^{n*}, w_{b2}^{y*} = w_{b2}^{n*}$ , 进而由定理1和定理4得到的最优决策,分别对不同的成本参数求一阶导数并根据参数

的取值范围判断一阶导数的大小,可得出

$$\frac{\partial w_{ai}^{t*}}{\partial c_a} = \frac{\partial w_{bi}^{t*}}{\partial c_b} = \frac{2}{4-\gamma^2} > 0,$$

$$\frac{\partial w_{bi}^{t*}}{\partial c_a} = \frac{\partial w_{ai}^{t*}}{\partial c_b} = \frac{\gamma}{4-\gamma^2} > 0,$$

$$\frac{\partial q_{ai}^{y*}}{\partial c_a} = \frac{\partial q_{bi}^{y*}}{\partial c_b} = \frac{(\eta-2)(\gamma^2-2)}{\beta(\gamma^2-4)(\gamma^2-1)(\eta^2-4)} < 0,$$

$$\frac{\partial q_{ai}^{y*}}{\partial c_b} = \frac{\partial q_{bi}^{y*}}{\partial c_a} = \frac{(\eta-2)\gamma}{\beta(\gamma^2-4)(\gamma^2-1)(\eta^2-4)} > 0,$$

$$\frac{\partial q_{bi}^{n*}}{\partial c_b} = \frac{\partial q_{ai}^{n*}}{\partial c_a} = \frac{\gamma^2-2}{\beta(\gamma^2-4)(\gamma^2-1)(\eta^2-4)} > 0,$$

$$\frac{\partial q_{bi}^{n*}}{\partial c_a} = \frac{\partial q_{ai}^{n*}}{\partial c_b} = \frac{\gamma}{\beta(\gamma^2-4)(\gamma^2-1)(\eta^2-4)} < 0. \quad \square$$

定理8目的在于对比契约达成与无契约状态下的最优决策. 可以看出,无论相对强势供应商与弱主制造商之间的合作关系是否达成,供应链的最优批发价格均是供应商成本的增函数. 表明相对强势供应商  $S_a$  与弱主制造商  $WM_1$  之间的关系契约及合作关系的建立不影响无契约时竞争性供应商  $S_a$  与竞争性主制造商  $M_2$  交易的最优批发价格,这是由于供应商成本较高时,提升批发价格能够维持供应商的盈利能力. 但是,通过分析供应商成本对最优订货量的影响发现,无论相对强势供应商与弱主制造商合作关系达成与否,供应商成本对最优订货量的影响都呈相反的趋势. 关系契约协调时,同一供应商对不同主制造商的供货量是其本身成本的减函数,是其竞争供应商成本的增函数;当无契约协调时变动趋势恰好相反,同一供应商对不同主制造商的供货量是其本身成本的增函数,是其竞争供应商成本的减函数. 这是由于契约协调后合作关系的优势凸显,使得不同供应商成本优势在与同一主制造商交易中更加明显从而增加了交易量,而竞争供应商不得不与增加竞争主制造商的交易量以维持二者的盈利能力,这也表明相对强势供应商与弱主制造商的合作会促使其他竞争者之间的交易数量增加.

### 3 案例分析

以我国自行研制的某型号客机为例,该型号客机是我国按照最新国际适航标准研制的干线民用飞机,集成了全世界许多不同国家的不同供应商,如机体外壳由我国国内某供应商提供,而一些关键部件,如发动机、燃料控制系统以及重要的飞控软件则分别由来自美国、法国、德国的某些实力雄厚的供应商提供. 以这些关键部件的供应商为例,其早期以及长期以来累积的技术优势,使其相应部门一方面具备了行业优势,另一方面也具备了制定适航认证的权力,我国自行研制的大型客机寻求与这些在产品市场上相

对强势的供应商建立合作关系. 为更清晰关系契约的占优性, 研究主制造商 WM<sub>1</sub> 能力、强势供应商 S<sub>a</sub> 合作态度以及关系契约的内容对契约决策均衡结果的影响, 运用数值算例进行分析<sup>[16]</sup>.

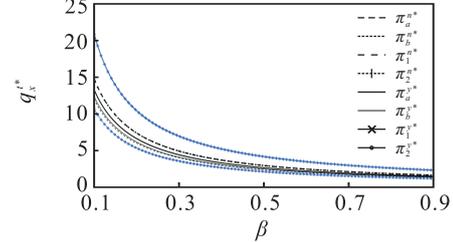
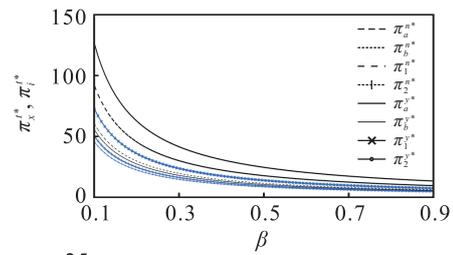
对于处于我国大型客机初创期的某制造商而言, 由于在某些方面处于相对劣势地位, 将主制造商 WM<sub>1</sub> 能力初始值设置为  $g = 0.5$ . 同时, 相对强势供应商 S<sub>a</sub> 因有其他早期与其有交易关系的主制造商 M<sub>2</sub> 存在, 对 WM<sub>1</sub> 的初始合作意图不够重视, 即其合作态度也在初期处于一个较低的情形, 为此令其合作态度的初值为  $h = 0.5$ . 下面分析关系契约的占优性, 研究主制造商 WM<sub>1</sub> 能力、相对强势供应商 S<sub>a</sub> 合作态度、线性分成比例等分别在不同范围内变动时, 供应链竞争的动态过程.

### 3.1 关系契约在合作中的占优性分析

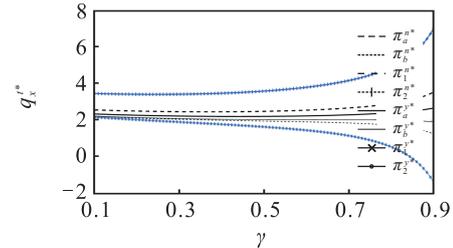
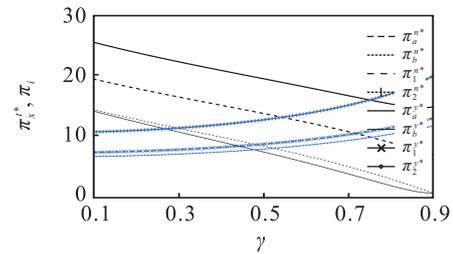
关系契约能够自执行的重要原因之一在于建立相互信任的良好合作关系带来的预期收益改善, 因此, 关系契约能够被 S<sub>a</sub> 与 WM<sub>1</sub> 认可并执行在于契约协调后的收益要得到改善. 图2为不同  $\beta, \gamma, \eta$  时的供应链均衡状态. 由定理1可知, 曲线  $\pi_1^*$  与  $\pi_2^*$ 、曲线  $q_{a1}^{n*}$  与  $q_{a2}^{n*}$ 、曲线  $q_{b1}^{n*}$  与  $q_{b2}^{n*}$  重合. 可以看出, 当相对强势供应商 S<sub>a</sub> 与 WM<sub>1</sub> 就关系契约达成一致时, 双方的最优收益及最优订货量总是高于无契约(即供应链交叉竞争)时的均衡收益, 这表明关系契约能够改善双方收益, 从利益最大化角度而言, 作为理性人假设的 S<sub>a</sub> 与 WM<sub>1</sub> 足够有动机接受关系契约, 关系契约相比只在供应链竞争情景下具有占优性.

分析图2(a)可以得出, 随着价格弹性系数  $\beta$  的增加, 无论供应链的契约状态如何, 交叉竞争供应链所有成员的最优收益均呈现下降趋势. S<sub>a</sub> 与 WM<sub>1</sub> 关系契约交易时, 其竞争性供应商 S<sub>b</sub> 及主制造商 M<sub>2</sub> 的最优收益均低于 S<sub>a</sub> 与 WM<sub>1</sub> 不建立合作关系时的收益, 弱主制造商 WM<sub>1</sub> 与相对强势供应商 S<sub>a</sub> 及其竞争性供应商 S<sub>b</sub> 交易的最优订货量分别为最高、最低, 此时  $q_{b2}^{y*}, q_{b1}^{y*}$  低于  $q_{b2}^{n*}$ .

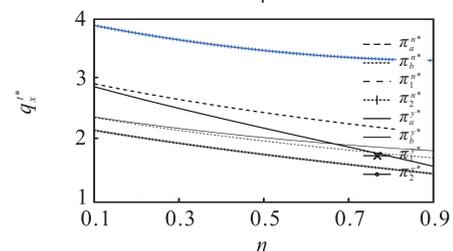
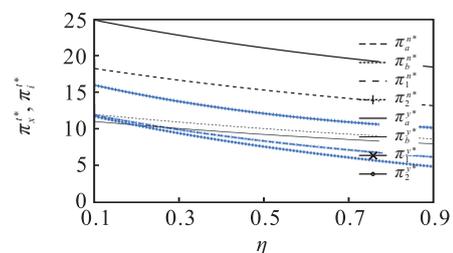
分析图2(b)可以得出, 随着供应商竞争强度  $\gamma$  的增加, 供应商 S<sub>x</sub> 的最优收益呈现下降趋势, 主制造商 M<sub>i</sub> 的最优收益呈现上升趋势, 主制造商 M<sub>i</sub> 与相对强势供应商 S<sub>a</sub> 交易的最优订货量  $q_{a1}^{t*}, q_{a2}^{t*}$  增加, 与 S<sub>b</sub> 交易的最优订货量  $q_{b1}^{t*}, q_{b2}^{t*}$  减少. S<sub>a</sub> 与 WM<sub>1</sub> 关系契约交易时, 其竞争性供应商 S<sub>b</sub> 及主制造商 M<sub>2</sub> 的最优收益均低于 S<sub>a</sub> 与 WM<sub>1</sub> 不建立合作关系时的收益, 且  $\gamma$  较大时主制造商 M<sub>i</sub> 的收益逐渐高于 S<sub>x</sub> 的最优收益. 此时, 弱主制造商 WM<sub>1</sub> 与相对强势供应商



(a) 不同  $\beta$  时供应链均衡



(b) 不同  $\gamma$  时供应链均衡



(c) 不同  $\eta$  时供应链均衡

图2 关系契约占优性分析

S<sub>a</sub> 交易的最优订货量  $q_{a1}^{y*}$  最高, 与其竞争性供应商 S<sub>b</sub> 交易的最优订货量  $q_{b1}^{y*}$  最低. 这表明供应商竞争越激烈对主制造商越有利. 可见, 当竞争供应商提供产品的边际替代率较高时, 若相对强势供应商拒绝主制造商 WM<sub>1</sub> 的关系契约, 则主制造商会寻求能够提供相近产品的竞争供应商 S<sub>b</sub> 来替代, 此时, 相对强势供应

商与主制造商 WM<sub>1</sub> 的交易量会因为强势供应商拒绝关系契约而下降. 可见, 当竞争供应商提供的产品边际替代率升高即产品差异性不明确或者两制造商的竞争越激烈时, 相对强势供应商拒绝关系契约均会使得其与主制造商 WM<sub>1</sub> 的最优交易量下降. 不难理解, 当产品的差异性不很明显时, 即使强势供应商拒绝主制造商 WM<sub>1</sub> 的契约合作提议, 主制造商 WM<sub>1</sub> 也可以寻求其他供应商来替代. 而当竞争制造商竞争激烈时, 若强势供应商拒绝主制造商 WM<sub>1</sub> 专有投资的建议, 则其与其他制造商的交易会使主制造商 WM<sub>1</sub> 不得不寻求其他的供应商来满足产品需求.

分析图 2(c) 可以得出, 随着主制造商竞争强度  $\eta$  的增加, 无论供应链的契约状态如何, 交叉竞争供应链所有成员的最优收益均呈现下降趋势, 当  $S_a$  与 WM<sub>1</sub> 建立合作关系时, 二者的最优收益均高于无合作关系时的收益同时高于  $S_b$  与  $M_2$  的最优收益. 主制造商竞争越激烈, 交叉供应链的最优订货量  $q_{xi}^{t*}$  越小. 但是,  $S_a$  与 WM<sub>1</sub> 建立合作关系时, 其最优交易量  $q_{a1}^{y*}$  总大于无契约时的最优交易量  $q_{a1}^{n*}$ , 与  $S_b$  最优交易量  $q_{b1}^{y*}$  小于无契约时的最优交易量  $q_{b1}^{n*}$ . 关系契约协调时  $S_b$  与  $M_2$  的最优交易量高于无契约协调时的最优交易量, 低于与  $M_1$  的最优交易量. 弱主制造商 WM<sub>1</sub> 与相对强势供应商  $S_a$  交易的最优订货量  $q_{a1}^{y*}$  最高, 与其竞争性供应商  $S_b$  交易的最优订货量  $q_{b1}^{y*}$  最低. 可以发现, 当制造商之间竞争越激烈时, 如果相对强势供应商拒绝了主制造商 WM<sub>1</sub> 的合作意向而不接受主制造商 WM<sub>1</sub> 提供的关系契约, 则在主制造商竞争越激烈时, 主制造商 WM<sub>1</sub> 与相对强势供应商  $S_a$  的最优交易量便越小.

综合分析图 2 可以发现, 供应商生产产品的可替代性越高供应商竞争越激烈, 对主制造商的收益越有利, 相反, 主制造商竞争激烈不利于各方盈利能力的提升. 关系契约总能够使得初创期大型客机弱主制造商及相对强势供应商的收益得到改善, 促进其合作伙伴关系的建立. 当弱主制造商及相对强势供应商就关系契约达成一致并建立合作关系时, 弱主制造商生产最终大型客机的关键生产要素大部分由相对强势供应商供应, 同时, 弱主制造商的市场占有率最高. 通过关系契约建立合作关系, 能够产生合作效应形成供应链竞争, 并有效改善弱主制造商在市场竞争中的不利局面.

### 3.2 关系契约对合作演化的影响

图 3 为关系契约在不同范围内变动时, 供应链竞争均衡状态的动态演化过程. 如图 3(a) 所示, 当弱主

制造商及相对强势供应商的关系专用性投资逐渐增强时, 二者的收益均先增加至一个最高点后开始下降, 其他竞争性的供应商及主制造商的盈利能力呈现微弱的先下降后上升趋势. 这说明关系专用性投资并不是越高对双方越有利, 而是以接近相对强势供应商单位生产成本为最宜, 否则双方关系专用性投资的增加反而会削弱基于合作关系的盈利能力.

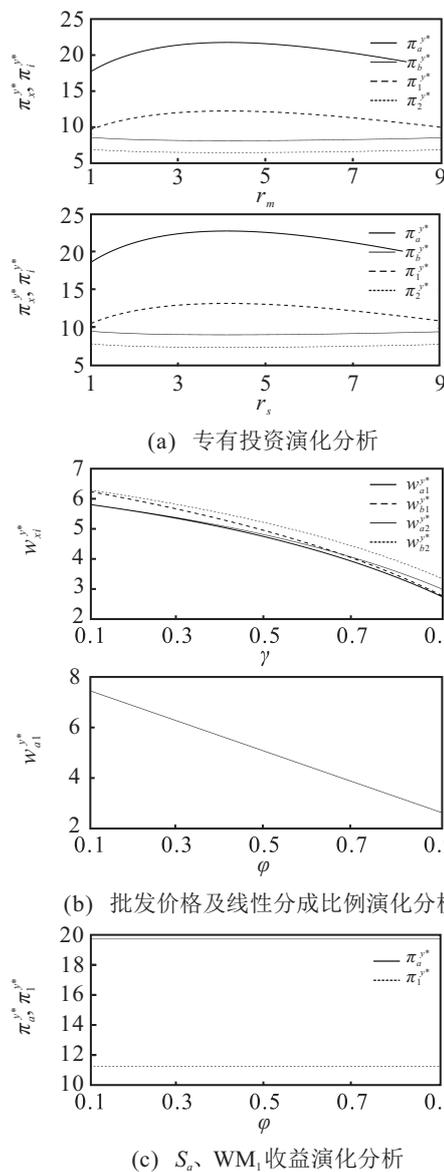


图 3 关系契约演化分析

图 3(b) 为关系契约达成时相对强势供应商及弱主制造商交易的最优批发价格动态演化过程. 可以看出, 双方合作关系达成时, 交叉竞争供应链的最优批发价格随着供应商竞争强度  $\gamma$  及线性分成比例的增加呈现下降趋势. 但是, 图 3(c)  $S_a$ 、WM<sub>1</sub> 收益演化分析发现二者的收益不随线性分成比例变化而变化, 这是由于线性分成比例带给双方的收益变化量随着批发价格变动引起的收益变化量相互抵消. 同时由图 3(b) 可以发现, 建立合作关系时, 弱主制造商与相

对强势供应商交易的最优批发价格  $w_{a1}^{y*}$  最小,而且供应商竞争越激烈,弱主制造商  $WM_1$  向  $S_b$  采购的最优批发价格  $w_{b1}^{y*}$  越低于同状态下的  $M_2$  向  $S_b$  采购的最优批发价格. 这表明供应商竞争越激烈,关系契约越能够提升若制造商的竞争能力. 综合分析图3,在适度的范围内增加关系专用性投资能够提升相对强势供应商及弱主制造商基于合作关系的能力,同时关系契约及合作关系的建立有助于减小弱主制造商的采购成本,而线性分成比例能将双方的收益变化量维持在稳定的水平.

### 3.3 强势供应商及弱主制造商能力差异对盈利能力的影响分析

图4为弱主制造商能力及相对强势供应商合作态度对交叉竞争供应链各成员盈利能力的影响分析. 可以看出,得益于关系契约及合作关系的建立,相对强势供应商及弱主制造商的盈利能力均在弱主制造商能力及相对强势供应商合作态度改善时得以提升,其他成员的盈利能力有下降趋势. 这表明合作态度及能力的提升有助于提升基于合作关系盈利能力,而基于关系契约形成的合作关系能够形成良好的合作竞争效应.

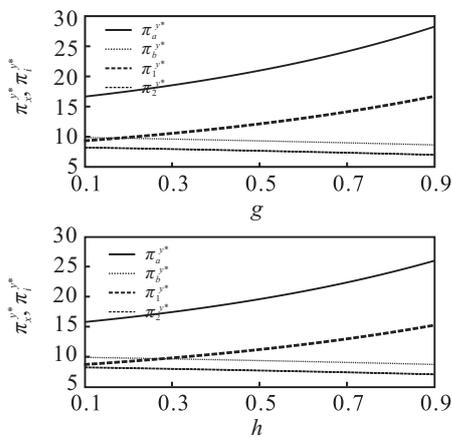


图4  $g, h$ 对盈利能力的影响分析

### 3.4 弱主制造商技术实力对合作关系影响分析

主制造商的技术实力在大型客机供应链竞争中具有举足轻重的作用. 图5为大型客机供应链中弱主制造商的技术实力对合作关系的影响. 可以看出,当弱主制造商与相对强势供应商的合作关系达成时,在弱主制造商的技术能力不断提升的条件下,弱主制造商与相对强势供应商形成的合作关系产生了明显的优势,体现在相对弱主制造商对相对强势供应商的零部件最优采购量随技术实力的提升而提升;同时,弱主制造商技术实力的提升不仅能够降低其与相对强势供应商的最优批发价格,而且其与弱势供应商的最优交易价格也呈现下降趋势,但不能影响其他交易情

形下的最优批发价格. 更重要的是合作关系形成时,不但相对强势供应商及弱主制造商的盈利能力随弱主制造商技术能力的提升而增加,也削弱了其他竞争者的盈利能力.

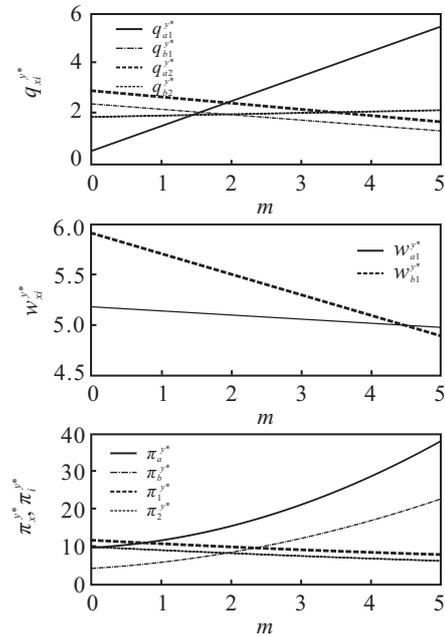


图5 弱主制造商技术实力对合作关系影响分析

综上所述对关系契约的演化分析可以得出,在我国大型客机研制初创期的特殊情景下,寻求相对强势供应商建立合作关系对我国大型客机主制造商能力提升以及更好地进军国际市场有着重要意义. 为能实现与强势供应商的更好合作,我国大型客机主制造商有必要结合不同市场及供应商的实际情况,有针对性地进行动态协调. 而以关系专用性投资和线性分成组成的关系契约能够有利于我国大型客机主制造商进行动态协调,提升盈利能力及市场占有率. 因此,我国大型客机主制造商应该根据不同的市场情况结合自身条件,动态激励强势供应商建立合作关系,最终在市场竞争中获益.

## 4 结论

本文基于我国大型客机研制初创期“主供”模式以及我国大型客机研制的特殊主制造商背景,运用博弈论,考虑在存在交叉竞争时,主制造商为了寻求相对强势供应商并与强势供应商建立合作关系,进行专有投资,并从专有投资以及合作关系所带来的利润视角入手,设计基于专有投资的关系契约协调激励相对强势供应商与主制造商建立合作关系,包含双方对合作关系建立的关系专用性投资以及对合作关系产生收益的线性分成比例. 研究结果显示:通过关系契约建立合作关系,能够产生合作效应形成供应链竞争,并有效改善弱主制造商在市场竞争中的不利局面;

相对强势供应商的合作态度及弱主制造商能力提升有助于提升基于合作关系盈利能力,而基于关系契约形成的合作关系能够形成良好的合作竞争效应。研究结论可为我国大型客机研制提供一定参考,从长期而言,我国大型客机研制需要从对国外先进技术的学习中增强自身能力,其学习能力对于改变我国大型客机研制初创期的特殊主制造商现状有重要意义,而竞争主制造商能力的不同及其对相对强势供应商关系的投入,也势必影响我国大型客机研制初创期的特殊主制造商决策,同时,需要关注更多大型客机供应链运营的实际情形,这将是后续研究需重点关注的方向。

### 参考文献(References)

- [1] 易凯凯,朱建军,张明,等.基于不完全信息动态博弈模型的大型客机主制造商-供应商协同合作策略研究[J].中国管理科学,2017,25(5):125-134.  
(Yi K K, Zhu J J, Zhang M, et al. Analysis on the main manufacturer supplier cooperative strategies of airliner based on dynamics games of incomplete information[J]. Chinese Journal of Management Science, 2017, 25(5): 125-134.)
- [2] 陈洪转,方志耕,刘思峰,等.复杂产品主制造商-供应商协同合作最优成本分担激励研究[J].中国管理科学,2014,22(9):98-105.  
(Chen H Z, Fang Z G, Liu S F, et al. The optimal cost-sharing incentive strategy of main manufacturer-suppliers for complex product[J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(9): 98-105.)
- [3] Nosoochi I, Nookabadi A S. Outsource planning through option contracts with demand and cost uncertainty[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 250(1): 131-142.
- [4] Kemahlolu Z E. Contracting for capacity under renegotiation: Partner preferences and the value of anticipating renegotiation[J]. Production and Operations Management, 2015, 24(2): 237-252.
- [5] 林晶,王健.LR-型模糊需求下供应链的质量控制与成本分担[J].控制与决策,2016,31(4):678-684.  
(Lin J, Wang J. Quality control and cost sharing of the supply chain under LR-type fuzzy demand[J]. Control and Decision, 2016, 31(4): 678-684.)
- [6] 王文宾,丁军飞,达庆利,等.奖惩机制下闭环供应链的成本共担-利润共享契约研究[J].控制与决策,2018,34(4):843-850.  
(Wang W B, Ding J F, Da L Q, et al. The study of cost-profit sharing contract under award and punishment contract in CLSC[J]. Control and Decision, 2018, 34(4): 843-850.)
- [7] Hwang S. Relational contracts and the first-order approach[J]. Journal of Mathematical Economics, 2016, 63: 126-130.
- [8] Shi-Qiang T. An analysis to relational contract-based supply chain partnership[C]. International Conference on Business Computing and Global Informatization (BCGIN). Shanghai: IEEE, 2012: 283-286.
- [9] Taylor T A, Plambeck E L. Simple relational contracts to motivate capacity investment: Price only vs. price and quantity[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2007, 9(1): 94-113.
- [10] Brusset X, Agrell P J. Dynamic supply chain coordination games with repeated bargaining[J]. Computers & Industrial Engineering, 2015, 80: 12-22.
- [11] 殷茗,赵嵩正.专用资产投资与供应链协作信任,合作意图之间的动态差异性关系研究[J].科研管理,2009,30(1):65-70.  
(Yin M, Zhao S Z. Study on the dynamic differential relationship between specific asset investment, collaboration trust, and cooperation intention in the supply chain[J]. Science Research Management, 2009, 30(1): 65-70.)
- [12] 李晓静,艾兴政,唐小我.基于交叉销售的竞争供应链纵向契约研究[J].管理科学学报,2016,19(10):117-126.  
(Li X J, Ai X Z, Tang X W, et al. The study of vertical contract based on supply chain competition[J]. Journal of Management Sciences in China, 2016, 19(10): 117-126.)
- [13] Feng Q, Lu L X. Supply chain contracting under competition: Bilateral bargaining vs. stackelberg[J]. Production and Operations Management, 2013, 22(3): 661-675.
- [14] 袁文峰,何利芳,刘思峰,等.主制造商-供应商模式下民用飞机研制供应链努力程度协调模型[J].上海管理科学,2011,33(6):51-55.  
(Yuan W F, He L F, Liu S F, et al. The coordination model of aircraft based on main manufacturer-suppliers[J]. Shanghai Management Science, 2011, 33(6): 51-55.)
- [15] Malcomson J M. Relational incentive contracts with persistent private information[J]. Econometrica, 2016, 84(1): 317-346.
- [16] Du B, Guo S. Production planning conflict resolution of complex product system in group manufacturing: A novel hybrid approach using ant colony optimization and shapley value[J]. Computers & Industrial Engineering, 2016, 94: 158-169.

### 作者简介

周金华(1991—),女,博士生,从事供应链管理、复杂系统建模的研究,E-mail: zhoujh0891@163.com;  
朱建军(1976—),男,教授,博士生导师,从事供应链管理、决策理论方法等研究,E-mail: zhujianjun@nuaa.edu.cn;  
王嵩华(1977—),女,讲师,博士,从事供应链管理等研究,E-mail: 359126709@qq.com.

(责任编辑:郑晓蕾)