

# 独占、授权还是共享?<sup>①</sup>

——存在随机产出风险的高技术企业专利运作战略研究

黄河<sup>1</sup>, 曾能民<sup>1,2</sup>, 徐鸿雁<sup>1</sup>

(1. 重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400030; 2. 哈尔滨工程大学经济管理学院, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 本文研究了存在随机产出风险时供应链上游高技术生产企业的专利运作战略. 分别构建了3种最常见专利战略——独占、授权和共享下的供应链上下游决策模型. 独占战略下, 上游供应商自己生产零件并向下游制造商供货, 但生产过程存在随机产出风险; 授权战略下, 供应商不生产零件但把技术授权给代工厂商并收取专利许可费; 共享战略下, 供应商把专利共享给代工厂商, 当其随机产出实现且不能满足下游订单时由代工厂商来补足订单. 研究结果表明, 对供应商而言, 若下游制造商面临的市场规模较小, 则授权战略占优; 若市场规模较大, 此时哪种战略更好取决于其供应的可靠性: 当可靠性较低时独占战略占优, 当可靠性较高时共享战略占优. 与分散决策相比, 集中决策下授权战略占优的区间扩大, 而独占战略占优的区间缩小. 此外本文还发现, 对供应商而言最优的专利战略和社会最优(即对整条供应链而言最优的专利战略)之间存在一定程度的偏离, 且偏离的程度随启动成本的降低而加剧, 随可靠性的降低而缓解.

**关键词:** 供应链管理; 供应风险; 专利战略

**中图分类号:** F274   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2020)06-0001-17

## 0 引言

随着供应链的全球化及研发、生产的专业化, 采取合适的专利战略成为高技术企业关注的核心问题之一. 在运作实践中, 常见的专利战略有3种. 第一, 专利独占战略, 即企业依靠技术优势制造先进的产品并垄断产品市场的战略行为. 比如英特尔<sup>[1,2]</sup>: 依靠先进的技术, 英特尔制造的芯片在2014年占领了服务器领域95%的市场份额, 并创造了高达559亿美元的营收. 第二, 专利授权战略, 即高技术企业不生产产品, 而只做专利供应商. 例如ARM公司<sup>[1,3]</sup>: 世界上几乎所有平板电脑的处理器都是基于ARM的构架, 然而ARM并不生产芯片, 而是将专利授权给诸如台积电<sup>[4]</sup>这样的具有丰富制造经验和成熟生产工艺

的代工厂商, 并通过收取专利授权费盈利. 类似的, IBM、德州仪器、日立、柯达等企业也常在一些技术领域采取专利授权战略<sup>[5]</sup>. 第三, 专利共享战略, 即高技术企业把专利共享给其它公司, 以便自己在生产上遇到问题时, 可以由其它公司提供帮助. 比如三星<sup>[6]</sup>: 2015年, 三星把当时最先进的14纳米制程技术共享给了战略合作伙伴——代工厂商格罗方德, 随后它们联合获得了苹果iPhone 6s所搭载A9处理器的订单, 其中三星是主供应商, 格罗方德是后备供应商, 即当三星遭遇生产问题时, 由格罗方德提供供货帮助. 除此之外, 特斯拉、丰田等企业也常采用专利共享战略<sup>[7]</sup>.

上述案例说明, 独占、授权和共享战略在现实

① 收稿日期: 2018-01-22; 修订日期: 2020-01-22.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71871032; 71972019); 中央高校基本科研业务费项目(3072020CFW0909; 2018CDJSK02XK16)

作者简介: 黄河(1977—), 男, 重庆人, 博士, 教授, 博士生导师, Email: huanghe@cqu.edu.cn

中具有广泛的应用.那么,对高技术企业而言,到底哪种专利战略更好呢?当企业采取独占战略时,需考虑启动成本和随机产出风险等因素.原因在于,随着企业分工的细化,专注于技术研发的企业可能并没有生产线,如ARM和早期的英特尔,因此当它们选择自己生产产品时,需要投入高昂的启动成本以建造厂房和购置设备.除此之外,鉴于高科技产品的工艺复杂性,专注于技术研发的企业往往生产上缺乏经验,工艺上不够成熟,这很容易导致随机产出风险<sup>[8]</sup>.比如三星为苹果生产A9处理器时,良品率不足30%<sup>[9]</sup>.而苹果、诺基亚、惠普、IBM等企业,都选择富士康代工而不愿自己生产产品,因为富士康拥有更丰富的生产经验和更好的生产工艺<sup>[10, 11]</sup>.当企业采取授权战略时,授权专利的同时把零件的生产权也让渡给了代工厂商.尽管这样做可以节约启动成本并应对随机产出风险,但供应链的三方即供应商、代工厂商和制造商都有决策行为,它们决策时需确保自己拥有正的边际收益,这导致了供应链整体利润的损失,既往研究(如文献[12, 13])将这种现象称为三重边际效应(Triple Marginalization).而共享战略是独占和授权战略的一种折中,它既可以应对供应风险也不会导致三重边际效应(高技术企业和代工厂商之间是一种合作关系),然而其弊端在于引入了竞争.特别是当高技术企业在竞争中处于弱势时,共享战略给它带来的弊端更加明显.因此,如何在不同的专利战略之间进行权衡,主要取决于启动成本、供应风险、三重边际效应和竞争等因素.

在理论上,Horstmann等<sup>[14]</sup>探讨了企业是否为其创新成果申请专利的问题,发现企业只会把部分成果专利化,且研发过程所付出的代价越大,创新成果专利化的比例越高.Rockett<sup>[15]</sup>研究了专利授权对象的选择问题,发现创新者在专利保护期限到了之后倾向于把专利授权给较弱的企业以维持自己的竞争优势.Fauli-Oller和Sandonis<sup>[16]</sup>、Li和Wang<sup>[17]</sup>发现在竞争环境下,当一个企业把技术授权给竞争对手时可能会降低社会福利,因为技术授权行为会导致共谋.Arora等<sup>[5]</sup>对集中许可和分散许可两种专利许可方式进行了比较研究,其中集中许可指的是由母公司做专利许可决策,而分散许可指的是由各个子公司做专利许可

决策.Hong等<sup>[18]</sup>比较了两种不同的专利许可费收取方式——固定许可费模式和单位许可费模式(即每生产一单位产品需要支付的许可费),发现从消费者剩余的角度而言,固定许可费模式总是优于单位许可费模式,而对制造商而言这两种模式各有优势.类似的比较还出现在文献[19, 20]中.Tian<sup>[21]</sup>探讨了专利许可合同的设计问题,并提出了一种二部定价合同,它本质上就是固定许可费和单位许可费模式的结合.Hu等<sup>[7]</sup>分析了技术共享和技术不共享两种策略各自的占优条件,并发现尽管技术共享会加剧竞争,但也可以激励供应商为削减成本、提升技术和满足市场偏好而进行投资.Chen等<sup>[22]</sup>探讨了一个持有专利的零件供应商面对下游双寡头制造商时的专利许可策略,其中供应商可以按制造商产品销售价格的百分比计算知识产权许可费(即基于产品的策略),也可以按零件批发价格的百分比计算知识产权许可费(即基于零件的策略);研究发现,供应商对许可策略的偏好取决于市场规模、两个制造商的生产成本差异等因素.刘志等<sup>[23]</sup>针对高端产品和低端产品的差异化竞争,构建了高端制造商将再制造专利许可作为外部竞争要素情形的闭环供应链竞合决策模型,研究了消费者异质需求下再制造专利许可对闭环供应链生产决策、利润和环境效益的影响.金亮等<sup>[24]</sup>针对由专利持有企业、品牌企业及OEM厂商组成的系统,考虑不同企业之间存在需求信息不对称及企业社会责任承担,构建了专利授权和生产外包的两阶段博弈模型,分析了最优专利授权合同设计和需求信息披露策略及企业社会责任的价值.对于核心专利池,Tesoriere<sup>[25]</sup>研究了池的共享规则在防止套利方面是否足够稳定,以便池的成员没有交易专利的动机;研究表明,唯一的稳定规则是数值比例规则——为每个成员提供池的利润份额恰好等于池的专利份额.Sarmah等<sup>[26]</sup>研究了如下问题:制药商在第一阶段投入大量研发成本之后,带着新药进入发展中国家,但受到发展中国家的强制许可机制——允许仿制药制造商生产专利产品的仿制版本,以换取固定的专利许可费;当专利到期时,专利持有者和仿制药商之间将发生传统的价格竞争.研究发现,大部分情况下,仿制药商获得的利润高于专利持有者.Reisinger和Tarantino<sup>[27]</sup>分析

了专利池向竞争制造商授权专利的问题,研究发现,池对社会福利的影响取决于行业结构:当没有制造商与许可方集成时,池是有利于竞争的,但纵向整合制造商的存在触发了一种新的权衡——纵向和横向价格协调,具体而言,如果纵向整合制造商所占份额很大则池是反竞争的,否则池是有利于竞争的. Gao 等<sup>[28]</sup>研究了回收闭环供应链中再制造成本降低技术的专利使用策略问题,其中专利许可人(制造商)和被许可人(再制造商)同时在销售市场上竞争,并求出了最优的专利许可费. Bond 和 Saggi<sup>[29]</sup>建立了一个南北博弈模型,以评估当北方国家(发达国家)对质量增强型研发的投资受到其专利政策影响时,南方国家(发展中国家)对专利保护的激励;研究发现,南方国家的强制许可政策改善了该国消费者获取渠道,甚至可以提高创新和全球福利. Banerjee 和 Poddar<sup>[30]</sup>研究了潜在的被许可人不对称时不同的技术转让方式;研究发现,最佳的策略是在两家公司之间的成本差异相对于运输成本而言较小时,向两家被许可公司提供纯版税合同,否则仅向有效率的公司提供固定费用的许可合同.

既往文献涉及专利运作策略的研究较多(比如前面提到的文献[5,7,14~30]等),然而针对独占、共享以及授权这3种常见专利战略的比较研究鲜有发现,而且当前探讨供应风险对专利战略选择影响的文献也几乎未见. 现实观察启示我们想要回答,对于高技术企业而言,独占、共享以及授权哪种专利战略更好? 对整条供应链而言,哪种专利战略可以实现供应链利润的最大化? 供应风险在专利战略选择中起着怎样的作用? 为回答上述科学问题,本文研究了存在随机产出风险时供应链上游高技术生产企业的专利运作战略问题. 分别构建了3种最常见专利战略——独占、授权和共享下的供应链上下游决策模型. 其中独占战略下,上游供应商自己生产零件并向下游制造商供货,但生产过程存在随机产出风险;授权战略下,供应商不生产零件但把技术授权给代工厂商并收取专利许可费;共享战略下,供应商把专利共

享给代工厂商,当其随机产出实现且不能满足下游订单时由代工厂商来补足订单. 研究发现,对供应商而言,若下游制造商面临的市场规模较小,则授权战略占优;若市场规模较大,此时哪种战略更好取决于其供应的可靠性:当可靠性较低时独占战略占优,当可靠性较高时共享战略占优. 与分散决策相比,集中决策下授权战略占优的区间扩大,而独占战略占优的区间缩小. 除此之外本文还发现,对供应商而言最优的专利战略和社会最优(即对整条供应链而言最优的专利战略)之间存在一定程度的偏离,且偏离的程度随启动成本的降低而加剧,随可靠性的降低而缓解. 本文和既往相关研究的显著区别是,本文首次同时比较了独占、共享和授权这3种专利战略,并分析了供应风险在专利战略选择中所起的关键作用. 本研究有助于丰富专利产品运作管理理论,并为高技术企业的专利战略选择提供指导.

## 1 模型描述

考虑一条由一个上游高技术零部件供应商和一个下游制造商组成的供应链,其中供应商掌握了高技术零部件上的一种核心专利技术,制造商需采购该零部件以制造产品. 不失一般性,设每单位产品需一单位的该零件<sup>[31]</sup>,制造商除采购成本之外的其它成本标准化为零<sup>[32]</sup>. 制造商面临的市场反需求函数为  $p = D - aQ$ <sup>[33]</sup>,其中  $D$  为市场潜能(饱和度),  $Q$  为制造商投放到市场上的产品数量,  $a$  为数量敏感性系数且  $a > 0$ . 供应商可以自己生产该零件(独占战略),其生产成本由两部分构成:固定成本  $C$  和单位可变成本  $c$ ,其中固定成本  $C$  是指用以建造厂房和购置设备的启动成本. 同时,供应商的产出具有随机性<sup>②</sup>,设随机产出率  $\delta$  服从  $[0, b]$  上的均匀分布<sup>[33,34]</sup>,其中  $0 < b < 1$ . 考虑到供应商产出的随机性,可变成本  $c$  是指平摊到每一个成功产出零件上的生产成本<sup>[35,36]</sup>,它包含了可能的生产失败所带来的损失<sup>③</sup>. 供应商也可以把专利授权给代工厂商并由该厂商生产

② 和既往相关研究一样(如文献[33,34,35~38]),本文探讨的“随机产出”指的是由残次品等原因引起的订单交付数量的不确定.

③ 具体而言,若订货量为  $Q_m$ ,产出量为  $\delta Q_m$ ,每单位生产成本为  $c_0$ ,那么  $c = \frac{c_0 Q_m}{\delta Q_m} = \frac{c_0}{\delta}$ ,订货量  $Q_m$  所产生的总可变成本即为  $c_0 Q_m = (\delta c) \cdot Q_m$ .

零部件, 供应商只收取专利许可费( 授权战略) . 由于代工厂商是一个专业从事零件生产的企业且长期承接其他制造商的普通零部件订单<sup>④</sup>, 如引言中提到的台积电和格罗方德, 并在生产过程中积累了丰富的经验, 因此它拥有现成的厂房和设备, 同时为突出研究问题, 假设其没有随机产出风险( 产出率 100%) . 设代工厂商每生产并交付一个零件的成本也为  $c$  . 除上述两种做法之外, 供应商还可以和代工厂商签订合作协议, 由供应商把专利技术共享给代工厂商( 共享战略) , 以便代工厂商可以在供应商的随机产出实

现之后, 把不足的订单补上. 而且, 由代工厂商供应的那部分零件所获得的利润也由两者共享. 具体地( 下标中的  $m$ 、 $l$ 、 $s$  分别是独占、授权和共享战略的标签) :

在独占战略下, 如图 1, 供应商先决定批发单价  $w_m$  , 制造商再决定订货量  $Q_m$  . 然后供应商完全按订单进行投产, 但是由于产出的随机性, 供应商最终只能产出并交付数量为  $\delta Q_m$  的零件<sup>[34]</sup> ( 其余是残次品) . 因此, 供应商的生产成本为  $C + c\delta Q_m$  , 制造商需支付  $w_m\delta Q_m$  .

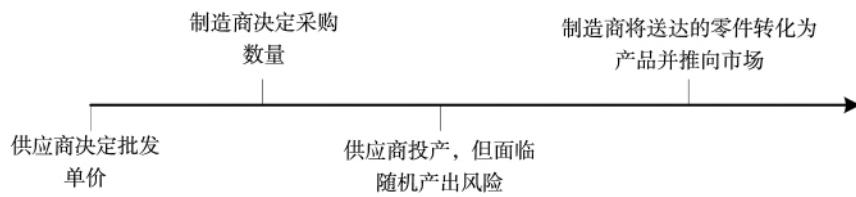


图 1 独占战略下的事件顺序

Fig. 1 Timeline of the events under the patent monopoly strategy

在授权战略下, 如图 2, 供应商先决定单位授权价格  $\mu_l$  ( 即代工厂商每生产一个零件需要向供应商支付的专利费<sup>[18, 19]</sup> ) , 然后代工厂商决策零件的批

发单价  $w_l$  , 最后制造商决策订货量  $Q_l$  . 由于代工厂商的生产是完美可靠的, 最终制造商需向代工厂商支付  $w_l Q_l$  , 代工厂商需向供应商支付  $\mu_l Q_l$  .

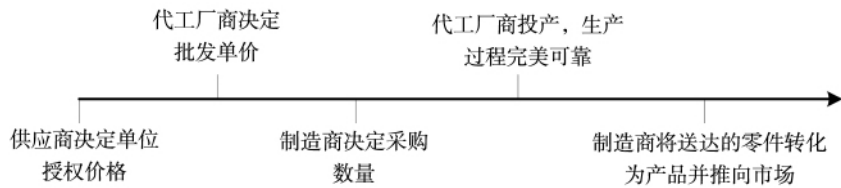


图 2 授权战略下的事件顺序

Fig. 2 Timeline of the events under the patent licensing strategy

在共享战略下, 如图 3, 供应商先决定批发单价  $w_s$  , 制造商再决定订货量  $Q_s$  . 之后供应商完全按订单进行投产, 但供应商最终能产出的数量只有  $\delta Q_s$  . 在供应商的随机产出实现之后, 由代工厂商把不足的订单补上, 即代工厂商的生产数量为  $(1 - \delta) Q_s$ <sup>[37]</sup> . 这样一方面可以应对供应风险, 另一方面可以确保代工厂商总是可以获得订单, 从而代工厂商才有动机和供应商

进行合作. 这种做法在理论研究( 如文献 [37] ) 和运作实践( 如引言中提到的三星) 中都非常常见. 值得注意的是, 由于供应商事先把专利共享给了代工厂商, 因此供应商和代工厂商交付的零件是无差异的. 最终, 制造商需向供应商支付  $w_s\delta Q_s$  , 向代工厂商支付  $w_s(1 - \delta) Q_s$  . 代工厂商还需把部分利润  $\alpha(w_s - c)(1 - \delta) Q_s$  转移给供应商作为专利共享的回报, 其中  $(w_s - c)(1 -$

④ 由于技术上的劣势, 在获得供应商的专利之前, 代工厂商无法生产出满足制造商要求的高技术零部件.

δ)  $Q_s$  是由代工厂商生产的那部分零件所获得的利润,  $\alpha$  是供应商的谈判力且有  $0 < \alpha < 1$ . 这

意味着供应商向代工厂商共享专利, 而代工厂商向供应商共享利润.

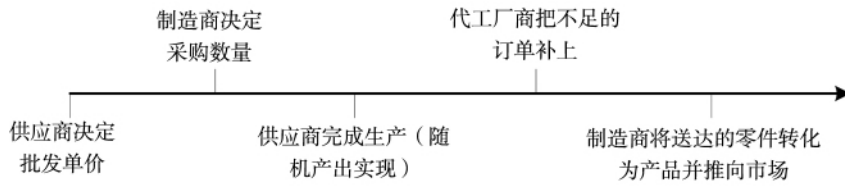


图3 共享战略下的事件顺序

Fig. 3 Timeline of the events under patent sharing strategy

为避免无意义的讨论, 需作如下假设:

**假设 1**  $D > c$ . 它意味着当  $Q = 0$  时  $p > c$ , 该假设是为了确保采购总是会发生.

由于  $b$  越大, 供应商越可靠(期望的随机产出越高), 因此, 将  $b$  定义为供应商的可靠性. 下面, 本文将分别求出这 3 种战略下各方的最优决策和相应利润, 并对这 3 种战略进行比较.

## 2 分散决策

### 2.1 3 种战略下的决策行为

独占战略下, 采用逆向归纳法, 先考虑制造商的订货决策问题: 给定供应商的批发单价  $w_m$ , 制造商需决策  $Q_m$  以最大化自己的期望利润  $\pi_m^0$  (上标中的 O 指的是 OEM 即制造商), 即

$$\max_{Q_m} \pi_m^0 = E_\delta((D - a\delta Q_m) \delta Q_m - \delta Q_m w_m) \quad (1)$$

其中  $(D - a\delta Q_m) \delta Q_m$  为制造商的销售收益(收入),  $\delta Q_m w_m$  为制造商的采购成本. 再考虑供应商的批发单价决策问题: 供应商需决策  $w_m$  以最大化自身的期望利润  $\pi_m^H$  (上标中的 H 指代的是 high-tech supplier 即供应商), 即

$$\max_{w_m} \pi_m^H = E_\delta((w_m - c) \delta Q_m - C) \quad (2)$$

解上述两个规划, 可得供应商和制造商的最优决策及相应利润, 见引理 1.

在授权战略下, 采用逆向归纳法, 先考虑制造商的订货决策问题: 给定供应商的单位授权价格  $\mu_l$ , 代工厂商的批发单价  $w_l$ , 制造商需确定  $Q_l$  以最大化自己的利润  $\pi_l^0$ , 即

$$\max_{Q_l} \pi_l^0 = (D - aQ_l) Q_l - Q_l w_l \quad (3)$$

再考虑代工厂商的批发单价决策问题: 给定供应商的单位授权价格  $\mu_l$ , 代工厂商需决策  $w_l$  以最大化自己的利润  $\pi_l^F$  (上标中的 F 指代的是 foundry 即代工厂商), 即

$$\max_{w_l} \pi_l^F = (w_l - c - \mu_l) Q_l \quad (4)$$

最后考虑供应商的单位授权价格决策: 供应商需决定  $\mu_l$  以最大化自己的利润  $\pi_l^H$ , 即

$$\max_{\mu_l} \pi_l^H = \mu_l Q_l \quad (5)$$

解上述三个规划, 可得供应商、代工厂商和制造商的最优决策及相应利润(见引理 1).

在共享战略下, 采用逆向归纳法, 先考虑制造商的订货决策问题: 给定供应商的批发单价  $w_s$ , 制造商需确定  $Q_s$  以最大化自己的利润  $\pi_s^0$ , 即

$$\max_{Q_s} \pi_s^0 = (D - aQ_s) Q_s - Q_s w_s \quad (6)$$

再考虑供应商的批发单价决策问题: 需决策  $w_s$  以最大化自身的期望利润  $\pi_s^H$ , 即

$$\max_{w_s} \pi_s^H = E_\delta((w_s - c) \delta Q_s - C + \alpha(w_s - c)(1 - \delta) Q_s) \quad (7)$$

其中  $(w_s - c) \delta Q_s - C$  是供应商自己生产的那部分零件所获得的利润,  $\alpha(w_s - c)(1 - \delta) Q_s$  是代工厂商转移给他的利润. 解上述两个规划, 可得供应商和制造商的最优决策及相应利润(见引理 1).

**引理 1** 考虑供应风险时, 在独占、授权和共享战略下, 供应链上下游各方的最优决策和相应利润如下:

	独占战略	授权战略	共享战略
授权价格( $\mu_i^*$ )	—	$(D + c) / 2$	—
批发单价( $w_i^*$ )	$(D + c) / 2$	$(3D + c) / 4$	$(D + c) / 2$
订货量( $Q_i^*$ )	$3(D - c) / (8ba)$	$(D - c) / (8a)$	$(D - c) / (4a)$
供应商利润( $\pi_i^{H*}$ )	$3(D - c)^2 / (32a) - C$	$(D - c)^2 / (16a)$	$(D - c)^2(2\alpha + b - \alpha b) / (16a) - C$
代工厂利润( $\pi_i^{F*}$ )	—	$(D - c)^2 / (32a)$	$(D - c)^2(1 - \alpha)(2 - b) / (16a)$
制造商利润( $\pi_i^{O*}$ )	$3(D - c)^2 / (64a)$	$(D - c)^2 / (64a)$	$(D - c)^2 / (16a)$
供应链利润( $\pi_i^{S*}$ )	$9(D - c)^2 / (64a) - C$	$7(D - c)^2 / (64a)$	$3(D - c)^2 / (16a) - C$

注: 独占战略下, 下标  $i = m$ ; 授权战略下, 下标  $i = l$ ; 共享战略下, 下标  $i = s$

**证明** 证明过程见附录, 下同. 证毕.

引理 1 给出了存在供应风险时不同战略下的决策行为. 为了研究供应风险对决策的影响, 接下来考虑一种特殊情形——没有供应风险( $\delta = 1$ ) 时不同战略下的决策. 授权战略下, 供应商不生产零件, 因此供应商是否存在随机产出风险对该战略下的决策没有影响, 即此时各方的最优决策和

利润完全如引理 1 所显示的一样; 而独占和共享战略下, 各方决策和利润会产生一定程度的改变, 具体值详见引理 2(上标中的 N 指代的是没有供应风险(no supply risk)的情形).

**引理 2** 没有供应风险( $\delta = 1$ ) 时, 在独占和共享战略下, 供应链上下游各方的决策和相应利润如下:

	独占战略	共享战略
批发单价( $w_i^{N*}$ )	$(D + c) / 2$	$(D + c) / 2$
订货量( $Q_i^{N*}$ )	$(D - c) / (4a)$	$(D - c) / (4a)$
供应商利润( $\pi_i^{NH*}$ )	$(D - c)^2 / (8a) - C$	$(D - c)^2 / (8a) - C$
代工厂利润( $\pi_i^{NF*}$ )	—	0
制造商利润( $\pi_i^{NO*}$ )	$(D - c)^2 / (16a)$	$(D - c)^2 / (16a)$
供应链利润( $\pi_i^{NS*}$ )	$3(D - c)^2 / (16a) - C$	$3(D - c)^2 / (16a) - C$

注: 独占战略下, 下标  $i = m$ ; 共享战略下, 下标  $i = s$

引理 2 表明, 没有供应风险时, 共享战略完全等价于独占战略. 这是因为  $\delta = 1$  时, 共享战略下代工厂商获得的订单量  $(1 - \delta) Q_s$  等于零, 即所有订单都由供应商自己生产, 因此共享和独占等价. 根据引理 1 和引理 2, 可得到推论 1、推论 2、推论 3.

**推论 1**  $Q_m^* > Q_m^{N*}$  且  $\frac{\partial(Q_m^* - Q_m^{N*})}{\partial b} < 0$ .

推论 1 表明, 在独占战略下, 存在供应风险时制造商的订货量高于不存在供应风险时的订货量 ( $Q_m^* > Q_m^{N*}$ ), 且这两种情形下订货量的差值是关于可靠性  $b$  的减函数 ( $\partial(Q_m^* - Q_m^{N*}) / \partial b < 0$ ). 这意味着供应风险的存在会使制造商“超订”, 且供应商的可靠性越低, “超订”的程度越高. 这是因为, 制造商在做采购决策时知道供应商的不可靠(即制造商知道供应商的产出量仅仅是订货量的一部分), 他通过“超订”可以在一定程度上抵

消供应风险给他带来的订单损失.

**推论 2**  $Q_s^* = Q_s^{N*} < Q_m^*$  且  $\pi_s^{S*} = \pi_s^{NS*}$ .

推论 2 表明, 在共享战略下, 存在供应风险时的订货量和供应链利润完全等于没有供应风险时的相应值 ( $Q_s^* = Q_s^{N*}$  且  $\pi_s^{S*} = \pi_s^{NS*}$ ). 这意味着, 对制造商和整条供应链而言, 共享战略完全消除了供应风险的影响. 然而对供应商而言, 尽管共享可以应对供应风险且他还可以通过专利共享从代工厂商那获得一部分利润, 但是共享也会带来坏处: 由于消除了供应风险对制造商的影响, “超订”现象消失了 ( $Q_s^* < Q_m^*$ ), 这导致了供应商的供货量减少 ( $\delta Q_s^* < \delta Q_m^*$ ). 换言之, 制造商原本(在独占战略下)是通过“超订”应对风险的, 现在(在共享战略下)通过代工厂商的补货就能应对, 这相当于共享使部分本属于供应商的订单转移给了代工厂商, 即共享使供应商和代工厂商之间建立了间接的竞争关系.

**推论3**  $Q_l^* < Q_m^*$ ,  $Q_l^* < Q_s^*$  且  $\mu_l = w_m^* = w_s^*$ .

尽管授权战略使供应商节约了启动成本并消除了供应风险,然而推论3表明,授权战略下制造商的采购数量低于其他两种战略下的采购数量 ( $Q_l^* < Q_m^*$ ,  $Q_l^* < Q_s^*$ ),但供应商的定价和其它两种战略下的定价完全相同 ( $\mu_l = w_m^* = w_s^*$ ). 这是因为,在独占和共享战略下只有双重边际效应(独占和共享战略下只有供应商和制造商有决策行为),在授权战略下却有三重边际效应(授权战略下供应商、代工厂商和制造商都有决策行为),这导致授权战略下制造商的单位采购成本增加 ( $w_l^* > w_m^*$ ,  $w_l^* > w_s^*$ ),于是订货量降低. 但是,订货量的减少并没有使供应商降低自己的定价,因为供应商需利用自己的先动优势把三重边际效应的损失尽量地转嫁给下游企业. 除此之外,通过引理1还可以发现  $Q_s^* - Q_l^* = (D - c) / 8a$ ,这意味着制造商面对的市场规模越大,三重边际效应引起的订货损失越大.

### 2.2 3种战略的比较

下面,本文将比较这3种专利战略,以确定哪种战略对供应商最有利. 通过比较  $\pi_m^{H^*}$ ,  $\pi_l^{H^*}$  和  $\pi_s^{H^*}$ ,可得定理1.

**定理1** 若  $D < \lambda_1$ , 则  $\pi_l^{H^*} > \max(\pi_m^{H^*}, \pi_s^{H^*})$ . 若  $D \geq \lambda_1$ , 则当  $b \leq b_1$  时,  $\pi_m^{H^*} \geq \max(\pi_l^{H^*}, \pi_s^{H^*})$ ; 当  $b > b_1$  时,  $\pi_s^{H^*} \geq \max(\pi_m^{H^*}, \pi_l^{H^*})$ , 其中  $\lambda_1 = \min(c + 4\sqrt{2aC}, c + 4\sqrt{aC/(b + 2\alpha - 1 - \alpha b)})$  且  $b_1 = (3 - 4\alpha)/(2 - 2\alpha)$ .

图4显示化地表明了定理1中的结论: 对供应商而言,若下游制造商面临的市场规模较小 ( $D < \lambda_1$ ),则授权战略占优 ( $\pi_l^{H^*} > \max(\pi_m^{H^*}, \pi_s^{H^*})$ ); 若市场规模较大 ( $D \geq \lambda_1$ ),此时哪种战略更好取决于其供应的可靠性: 当可靠性较低 ( $b \leq b_1$ ) 时独占战略占优 ( $\pi_m^{H^*} \geq \max(\pi_l^{H^*}, \pi_s^{H^*})$ ), 当可靠性较高 ( $b > b_1$ ) 时共享战略占优 ( $\pi_s^{H^*} \geq \max(\pi_m^{H^*}, \pi_l^{H^*})$ ).

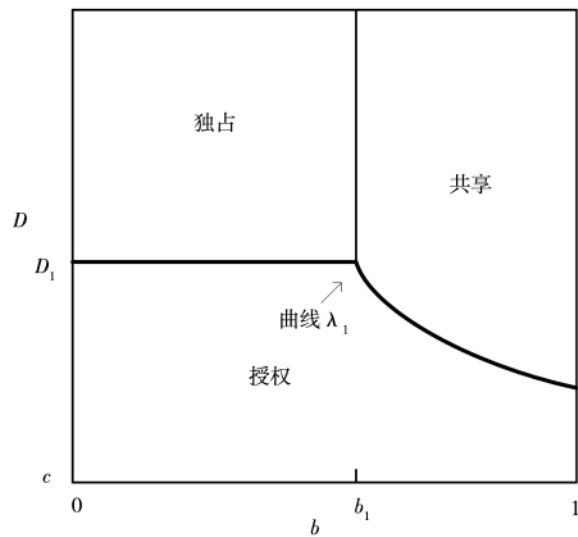


图4 对供应商而言三种战略的比较

Fig. 4 The comparison among patent monopoly, licensing and sharing

注:  $D_1 = c + 4\sqrt{2aC}$

定理1表现了如下管理启示. 本文把独占和共享统称为供应零件(独占和共享战略下供应商都需要向下游供应零件),把授权称为供应专利(授权战略下供应商只需向下游供应专利). 供应零件时,供应商需要投入启动成本;供应专利时,供应商会遭受三重边际效应带来的损失. 若市场规模较小,供应商能获得的潜在收益较低,投入启动成本对于供应商而言代价太大,而此时三重边际效应带来的损失较小<sup>⑤</sup>,于是对高技术供应商而言,做一个纯粹的专利供应商最有利;若市场规模较大,供应商能获得的潜在收益较高,启动成本显得微不足道,而此时三重边际效应带来的损失却很大,故对供应商而言,供应零件更有利. 在供应零件的情况下,还需对独占和共享战略进行比较. 由于共享可以很好地应对供应风险,因此直觉很容易认为,供应商的可靠性越低,越应该共享. 然而定理1表明,结论恰好相反: 当可靠性较低时供应商反而应采用独占战略,当可靠性较高时才采用共享战略. 这是因为,如前所述,共享在应对供应风险的同时,也引入了竞争. 而且,供应商的

⑤ 如2.1节所述,制造商面对的市场规模越大(小),三重边际效应引起的损失越大(小).

可靠性越低,代工厂商能分得的订单  $(1 - \delta) Q_s$  越多,供应商在竞争中越处于弱势地位. 因此,当供应商的可靠性较低时,共享使供应商分出去的订单太多以至于独占战略反而更有利. 当供应商的可靠性较高时,供应商只需分少量订单给代工厂商就能达到缓解供应风险的目的,因此共享战略更有利.

### 3 供应链协调

#### 3.1 3 种战略下的供应链协调

如前所述,分散决策会带来双重边际效应或

	独占战略	授权战略	共享战略
订货量( $Q_i^{**}$ )	$3(D - c)/(4ab)$	$(D - c)/(2a)$	$(D - c)/(2a)$
供应商利润( $\pi_i^{H**}$ )	$15(D - c)^2/(128a) - C$	$7(D - c)^2/(64a)$	$(1 + 2b + 4\alpha - 2\alpha b)(D - c)^2/(32a) - C$
代工厂商利润( $\pi_i^{F**}$ )	—	$5(D - c)^2/(64a)$	$(D - c)^2(1 - \alpha)(2 - b)/(16a)$
制造商利润( $\pi_i^{O**}$ )	$9(D - c)^2/(128a)$	$(D - c)^2/(16a)$	$3(D - c)^2/(32a)$
供应链利润( $\pi_i^{S**}$ )	$3(D - c)^2/(16a) - C$	$(D - c)^2/(4a)$	$(D - c)^2/(4a) - C$

注: 独占战略下,下标  $i = m$ ; 授权战略下,下标  $i = l$ ; 共享战略下,下标  $i = s$

对比引理 1 和引理 3 容易发现,无论是在何种专利战略下,实现供应链协调后的订货量、供应商利润、代工厂商利润、制造商利润和整条供应链利润均高于分散决策下的相应值. 这是因为供应链协调消除了分散决策中的双重边际或三重边际效应,实现了帕累托改进.

为研究供应风险的影响,和 2.1 节一样,接下来考虑一种特殊情形——没有供应风险( $\delta = 1$ ) 时不同战略下的供应链协调. 授权战略下,供应商

三重边际效应,从而造成整条供应链利润的损失<sup>⑥</sup>. 为避免这种损失,接下来考虑供应链协调的情形. 分析的思路和前面类似: 先分别探讨独占、授权和共享战略下的协调模型,再对这 3 种战略进行比较. 本文参照 Leng 和 Parlar<sup>[38]</sup> 的做法: 采用利润共享合同( Profit-sharing Contract) 进行供应链协调,协调的原则是在保证各方获得分散决策下同等利润的前提下,集中决策( 比分散决策) 多出来的系统利润再由参与了决策的各方平分<sup>⑦</sup>. 由此可得如下引理<sup>⑧</sup>.

**引理 3** 在独占、授权和共享战略下,实现供应链协调后,订货量和各方的利润如下:

不生产零件,因此供应商是否存在随机产出风险对供应链协调没有影响,即此时的订货量和各方利润完全如引理 3 所显示的一样; 独占战略下,令  $\delta$  等于 1,根据引理 3 相同的思路,即得独占战略下实现供应链协调后的订货量和各方利润,见表 1( 上标中的 N 指代的是没有供应风险(no supply risk) 的情形); 共享战略下,由于  $\delta = 1$ ,代工厂商获得的订单量  $(1 - \delta) Q_s$  等于零,即所有订单都由供应商自己生产,此时共享战略完全等价于独占战略.

表 1  $\delta = 1$  时独占战略下实现供应链协调后的订货量和各方利润

Table 1 Order quantity and profits under supply chain coordination without risk

订货量( $Q_m^{N**}$ )	供应商利润( $\pi_m^{NH**}$ )	制造商利润( $\pi_m^{NO**}$ )	供应链利润( $\pi_m^{NS**}$ )
$(D - c)/(2a)$	$5(D - c)^2/(32a) - C$	$3(D - c)^2/(32a)$	$(D - c)^2/(4a) - C$

⑥ 和本文一样,大量既往研究( 如文献[12, 13]) 也指出,由分散决策引起的双重边际和三重边际效应会造成订货量的下降和供应链利润的损失,这几乎已成为理论共识. 因此,本文不再对双重边际和三重边际效应作更细致的讨论.

⑦ 关于利润共享合同的经典研究结论表明,在保证各方获得分散决策下同等利润的前提下,集中决策( 比分散决策) 多出来的系统利润由各方按任一外生的比例分配,都能实现供应链协调<sup>[39-41]</sup>. 为方便起见,有的研究不妨直接假设多出来的系统利润由各方均分( 如文献[38]) ,因此本文也沿用这种设定.

⑧ 利润共享合同已被太多文献( 如文献[38~44]) 证明是可以实现供应链协调的,且证明过程是标准化的,因此本文省略了类似的证明,而只给出了引理 3 中订货量和各方利润的推导过程.



根据引理3和表1,可得推论4.

**推论4**  $\pi_m^{NH^{**}} - \pi_m^{H^{**}} > \pi_m^{NH^*} - \pi_m^{H^*}$ ,  $\pi_m^{NO^{**}} - \pi_m^{O^{**}} > \pi_m^{NO^*} - \pi_m^{O^*}$  且  $\pi_m^{NS^{**}} - \pi_m^{S^{**}} > \pi_m^{NS^*} - \pi_m^{S^*}$ .

推论4表明,在独占战略下,不论是对供应商、制造商,还是对整条供应链( $\forall i \in \{H, O, S\}$ )而言,供应链协调下供应风险引起的利润损失高于分散决策下的相应值( $\pi_m^{Ni^{**}} - \pi_m^{i^{**}} > \pi_m^{Ni^*} - \pi_m^{i^*}$ ).这意味着供应链协调会加剧供应风险带来的损失.这是因为,供应链协调消除了双重边际效应,并订货量的增加,于是随机产出风险的影响加剧.由于 $\pi_m^{Ni^{**}} - \pi_m^{i^{**}} > \pi_m^{Ni^*} - \pi_m^{i^*}$ 等价于 $\pi_m^{Ni^{**}} - \pi_m^{Ni^*} > \pi_m^{i^{**}} - \pi_m^{i^*}$ ,因此推论4还表明独占战略下,不论是对供应商、制造商,还是对整条供应链( $\forall i \in \{H, O, S\}$ )而言,没有供应风险时供应链协调的价值( $\pi_m^{Ni^{**}} - \pi_m^{Ni^*}$ )高于有供应风险时的相应值( $\pi_m^{i^{**}} - \pi_m^{i^*}$ ).这意味着供应风险的存在削弱了供应链协调的价值.

### 3.2 3种战略的比较

通过比较 $\pi_m^{H^{**}}$ ,  $\pi_l^{H^{**}}$ 和 $\pi_s^{H^{**}}$ ,可得定理2.

**定理2** 若 $D < \lambda_2$ ,则 $\pi_l^{H^{**}} > \max(\pi_m^{H^{**}}, \pi_s^{H^{**}})$ .若 $D \geq \lambda_2$ ,则当 $b \leq b_2$ 时, $\pi_m^{H^{**}} \geq \max(\pi_l^{H^{**}}, \pi_s^{H^{**}})$ ;当 $b > b_2$ 时, $\pi_s^{H^{**}} \geq \max(\pi_m^{H^{**}}, \pi_l^{H^{**}})$ ,其中 $\lambda_2 = \min(c + 8\sqrt{2aC}, c + 8\sqrt{aC/(4b+8\alpha-5-4\alpha b)})$ 且 $b_2 = (11-16\alpha)/(8-8\alpha)$ .

定理2表明(如图5所示),对供应商而言,在供应链协调下,若下游制造商面对的市场规模较小( $D < \lambda_2$ ),则授权战略占优.若市场规模较大( $D \geq \lambda_2$ ),此时对供应商而言哪种专利战略占优依赖于其供应的可靠性:当可靠性较低( $b \leq b_2$ )时,独占战略占优;当可靠性较高( $b > b_2$ )时,共享战略占优.定理2背后的原因和定理1类似,此处不再赘述.

比较定理1和定理2中的阈值 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ ,  $b_1$ 和 $b_2$ ,可得推论5.

**推论5**  $\lambda_2 > \lambda_1$ 且 $b_2 < b_1$ .

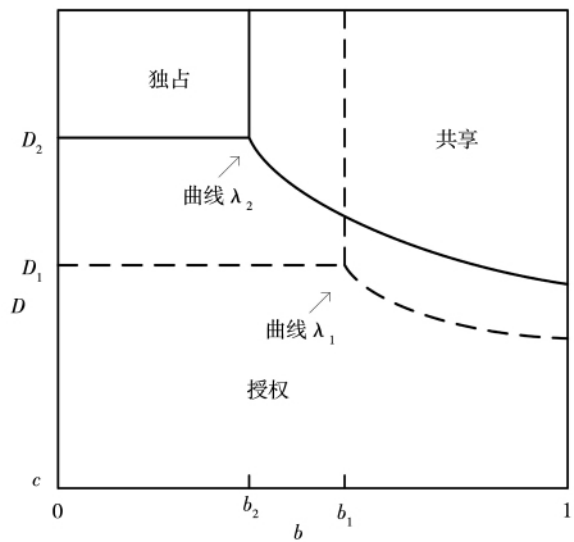


图5 对供应商而言不同专利战略占优的条件在分散决策和供应链协调之间的比较⑧

Fig. 5 The comparison of strategy selection between decentralized and coordination schemes

注:  $D_2 = c + 8\sqrt{2aC}$

推论5表明(如图5所示),对供应商而言,在对比供应专利与供应零件时,和分散决策相比,供应链协调使授权战略即供应专利占优的区间变大( $\lambda_2 > \lambda_1$ );而供应零件时,供应链协调又使供应商更倾向于共享( $b_2 < b_1$ ).这是因为,协调的主要作用是消除了多重边际效应(multiple marginalization).在独占和共享战略中,协调消除的是双重边际效应,而在授权战略中,协调消除的是三重边际效应,即协调给授权战略带来了更多的好处,因此授权战略占优的区间变大.除此之外,由推论4可知,在独占战略下,供应风险的存在会削弱供应链协调的价值,而共享恰好可以很好地应对供应风险.因此,协调会使供应商更不愿技术独占,更愿意技术共享.推论5的管理启示是,供应链协调会在很大程度上削弱技术垄断(独占战略)给供应商带来的好处,并导致供应商更倾向于专利共享或专利授权.

前面本文比较了3种专利战略下的供应商利润,接下来将比较3种专利战略下的供应链利润

⑧ 图形内部的实线表示供应链协调下各专利战略占优的分界线,而虚线表示分散决策下各专利战略占优的分界线.

( 社会福利 ) .

**定理 3**  $\forall j \in \{m, s\}$  , 总有  $\pi_i^{S^{**}} > \pi_j^{S^{**}}$  .

定理 3 表明, 对整条供应链而言, 授权战略总是优于其他战略. 这是因为, 授权战略可以应对供应风险, 节约启动成本, 而供应链协调又完全消除了它的负面效应——三重边际效应, 因此对整条供应链而言, 授权战略最优. 这说明, 授权战略是实现社会福利最大化( 社会最优) 的专利战略.

接下来分析对供应商而言最优的专利战略( 定理 2) 和社会最优( 定理 3) 之间的差别. 为分析的方便, 把定理 2 改写为: 对供应商而言, 若  $D < \lambda_2$  , 则授权战略占优; 若  $D \geq \lambda_2$  , 则当  $\alpha \leq \alpha_2$  时独占战略占优; 当  $\alpha > \alpha_2$  时, 共享战略占优, 其中  $\lambda_2 = \min(c + 8\sqrt{2aC}, c + 8\sqrt{aC/(4b + 8\alpha - 5 - 4\alpha b)})$  且  $\alpha_2 = (11 - 8b)/(16 - 8b)$  . 再结合定理 3, 可得图 6. 通过图 6 容易发现, 若  $D < \lambda_2$  , 对供应商和整条供应链而言, 授权战略占优; 若  $D \geq \lambda_2$  , 对整条供应链而言授权战略占优, 但是对供应商而言独占或共享战略占优. 这意味着, 对供应商而言最优的专利战略和社会最优之间存在一定程度的偏离( 扭曲) , 且图中阴影部分就是出现扭曲的区域. 这种扭曲源自于授权战略对供应商的优势不足. 因为在授权战略下, 供应商授权专利的同时把零件的生产权也让渡给了代工厂商, 这导致代工厂商在供应链协调中会拿走一部分本属于供应商的利润, 这就导致  $D \geq \lambda_2$  时, 从社会最优的角度来看授权战略占优, 而对供应商而言却是独占或共享战略占优.

**推论 6**  $\frac{\partial \lambda_2}{\partial b} \leq 0$  且  $\frac{\partial \lambda_2}{\partial C} > 0$  .

推论 6 表明, 随着可靠性的降低, 图 6 中阴影区域缩小( 曲线  $\lambda_2$  上移) , 即对供应商而言最优的专利战略和社会最优之间的扭曲缓解; 随着启动成本的降低, 图 6 中阴影区域增大( 曲线  $\lambda_2$  下移) , 即对供应商而言最优的专利战略和社会最优之间的扭曲加剧. 这是因为, 上述扭曲源自于授权战略对供应商的优势不足, 而授权战略具有应对供应风险的作用, 因此供应风险的增加( 即可靠性的降低) 会使授权战略的优势增加, 于是扭曲就减缓了; 同时, 对供应商而言, 授权战略还能节省启动成本, 因此启动成本越低, 授权战略的优

势越小, 于是扭曲就加剧了. 值得注意的是, 既往研究强调了高风险( 低可靠性) 带来的损失( 如文献 [33, 34, 36] 等) 和低成本带来的好处( 如文献 [45, 46] 等) . 然而出人意料的是, 上述结论表明较高的供应风险也会给供应链带来好处: 缓解了对供应商而言最优的专利战略和社会最优之间的扭曲; 较低的启动成本也会给供应链带来坏处: 加剧了对供应商而言最优的专利战略和社会最优之间的扭曲.

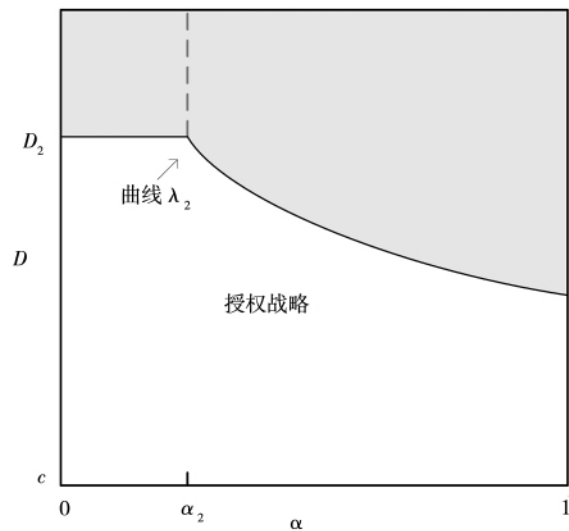


图 6 对供应商而言最优的专利战略和社会最优之间的扭曲

Fig. 6 The distortion of strategy selection between high-tech firm optimum and social optimum

### 4 结束语

采取合适的专利战略是高新技术企业关注的核心问题之一. 本文研究了存在随机产出风险的供应链上游高技术生产企业的专利运作战略. 模型考虑一个供应商成功研发了一种核心专利技术, 他可以供应专利, 即做一个纯粹的专利供应商( 授权战略) ; 也可以供应零件, 但需要投入启动成本并面临自身的随机产出风险. 供应零件时, 他可以把专利共享给一个代工厂商, 当其随机产出实现且不满足下游订单时由代工厂商把不足的订单补上( 共享战略) ; 也可以不共享, 即完全由自己生产( 独占战略) .

研究发现, 对供应商而言, 若下游制造商面对

的市场规模较小, 供应商应供应专利; 若市场规模较大, 供应商应供应零件. 供应零件时, 由于共享战略可以很好地应对供应风险, 因此直觉很容易认为, 供应商的可靠性越低越愿意共享. 然而结论恰好相反: 对供应商而言, 当可靠性较低时, 独占战略占优, 当可靠性较高共享战略占优. 这是因为, 共享在缓解风险的同时, 引入了竞争. 而且, 供应商的可靠性越低, 代工厂商获得的订单越多, 供应商在竞争中越处于弱势地位. 因此, 当可靠性较低时, 共享使供应商分出去的订单太多以至于独占战略反而更优. 当供应商的可靠性较高时, 供应商只需分少量订单给代工厂商就能达到缓解供应风险的目的, 因此共享战略更优. 和分散决策相比, 供应链协调使授权战略占优的区间扩大, 使独占战略占优的区间缩小. 此外本文还发现, 对供应商而言最优的专利战略和社会最优(即对整个供应链而言最优的专利战略)之间存在一定程度的扭曲, 且扭曲的程度随启动成本的降低而加剧, 随可靠性的降低而缓解. 本研究将有助于丰富供应

链管理理论, 并为企业的运作实践提供参考.

本文存在如下几个扩展方向: 首先, 本文假设零件的生产成本是线性的, 但现实中, 高技术行业可能存在规模经济或规模不经济效应, 因此后续研究可以扩展到非线性生产成本的情形. 此时, 规模经济或规模不经济效应将如何影响供应商的专利战略选择, 是一个十分有趣的科学问题. 其次, 本文是在完全信息下进行的研究, 但由于制造商更接近市场端, 市场需求可能是其私有信息, 因此后续研究可以扩展到不对称信息的情形. 在不对称信息下, 制造商可能会向供应商共享需求信息, 并在不同的专利战略下选择不同的信息共享策略. 此时, 不对称信息的存在以及制造商的信息共享策略将如何影响供应商的专利战略选择, 是一个颇具挑战但又值得研究的科学问题. 最后, 本文是在单链情形下开展的研究, 然而现实中, 供应链之间的竞争现象十分普遍, 因此后续研究可以扩展到供应链竞争的情形. 此时, 竞争的引入又将如何影响供应商的专利战略选择, 是另一个值得研究的科学问题.

#### 参 考 文 献:

- [1] Burt J. Intel to Build 10nm Mobile Chips for ARM [EB/OL]. <http://www.eweek.com/mobile/intel-to-build-10nm-mobile-chips-for-arm>, 2016-08-16.
- [2] Intel Newsroom. Intel Reports Record Full-Year Revenue of \$55.9 Billion, Generates Net Income of \$11.7 Billion, Up 22 Percent Year-over-Year [EB/OL]. <https://newsroom.intel.com/news-releases/intel-reports-record-full-year-revenue-of-55-9-billion-generates-net-income-of-11-7-billion-up-22-percent-year-over-year/>, 2015-01-15.
- [3] Investopedia. 3 Key Numbers ARM Holdings Investors Need to Know [EB/OL]. <http://www.investopedia.com/stock-analysis/061115/3-key-numbers-arm-holdings-investors-need-know-armh.aspx>, 2015-06-11.
- [4] Cambridge, Hsinchu. ARM and TSMC Sign Long-Term Strategic Agreement [EB/OL]. <https://www.design-reuse.com/news/23944/arm-tsmc-agreement.html>, 2010-07-20.
- [5] Arora A, Fosfuri A, Rønde T. Managing licensing in a market for technology [J]. *Management Science*, 2013, 59(5): 1092-1106.
- [6] Bloomberg News. Apple returns to Samsung to make next generation of chips [EB/OL]. [http://www.oregonlive.com/silicon-forest/index.ssf/2015/04/apple\\_returns\\_to\\_samsung\\_to\\_ma.html](http://www.oregonlive.com/silicon-forest/index.ssf/2015/04/apple_returns_to_samsung_to_ma.html), 2015-04-03.
- [7] Hu B, Hu M, Yang Y. Open or closed? Technology sharing, supplier investment, and competition [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2017, 19(1): 132-149.
- [8] Han G, Dong M, Liu S. Yield and allocation management in a continuous make-to-stock system with demand upgrade substitution [J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 156: 124-131.
- [9] 百度百家. 同是 A9 处理器, 为什么台积电会全面胜出三星 [EB/OL]. <http://www.chinaz.com/mobile/2015/1013/456622.shtml>, 2015-10-13.  
Baidu Baijia. With the same A9 processor, why TSMC will win Samsung [EB/OL]. <http://www.chinaz.com/mobile/2015/1013/456622.shtml>, 2015-10-13. (in Chinese)

- [10] Cooke P. Complex spaces: Global innovation networks & territorial innovation systems in information & communication technologies [J]. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 2017, 3(1): 9.
- [11] 安卓网. 富士康上榜 MIT 全球 50 大“最聪明公司” 赋能夏普跑出行业新速度 [EB/OL]. <http://news.hiapk.com/mip/s5954dd76b3f6.html>, 2017-06-29.
- Android. Foxconn on MIT's list of the world's 50 smartest companies empowers Sharp to run faster [EB/OL]. <http://news.hiapk.com/mip/s5954dd76b3f6.html>, 2017-06-29. (in Chinese)
- [12] Van Der Rhee B, Van Der Veen J A A, Venugopal V, et al. A new revenue sharing mechanism for coordinating multi-echelon supply chains [J]. *Operations Research Letters*, 2010, 38(4): 296-301.
- [13] Yoo S H, Seo Y W. Effect of supply chain structure and power dynamics on R&D and market performances [J]. *Journal of Business Economics and Management*, 2017, 18(3): 487-504.
- [14] Horstmann I, MacDonald G M, Slivinski A. Patents as information transfer mechanisms: To patent or (maybe) not to patent [J]. *Journal of Political Economy*, 1985, 93(5): 837-858.
- [15] Rockett K E. Choosing the competition and patent licensing [J]. *The RAND Journal of Economics*, 1990: 161-171.
- [16] Fauli-Oller R, Sandonis J. Welfare reducing licensing [J]. *Games and Economic Behavior*, 2002, 41(2): 192-205.
- [17] Li C, Wang J. Licensing a vertical product innovation [J]. *Economic Record*, 2010, 86(275): 517-527.
- [18] Hong X, Govindan K, Xu L, et al. Quantity and collection decisions in a closed-loop supply chain with technology licensing [J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 256(3): 820-829.
- [19] Bagchi A, Mukherjee A. Technology licensing in a differentiated oligopoly [J]. *International Review of Economics & Finance*, 2014, 29: 455-465.
- [20] Erkal N. Optimal licensing policy in differentiated industries [J]. *Economic Record*, 2005, 81(252): 51-60.
- [21] Tian X. Licensing a quality-enhancing innovation to an upstream firm [J]. *Economic Modelling*, 2016, 53: 509-514.
- [22] Chen J, Liang L, Yao D. An analysis of intellectual property licensing strategy under duopoly competition: Component or product-based? [J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 193: 502-513.
- [23] 刘 志, 李帮义, 汪 磊, 等. 差异化竞争下考虑再制造专利许可的闭环供应链生产决策 [J]. *运筹与管理*, 2018, 27(5): 66-74.
- Liu Zhi, Li Bangyi, Wang Lei, et al. Production decision of closed-loop supply chain considering remanufacturing patent licensing under differentiated competition [J]. *Operations Research and Management*, 2018, 27(5): 66-74. (in Chinese)
- [24] 金 亮, 郑本荣, 胡 浔. 专利授权合同设计与生产外包——基于企业社会责任的视角 [J]. *南开管理评论*, 2019, 22(3): 40-53.
- Jin Liang, Zheng Benrong, Hu Xun. Design and production outsourcing of patent licensing contract: A perspective of corporate social responsibility [J]. *Nankai Management Review*, 2019, 22(3): 40-53. (in Chinese)
- [25] Tesoriere A. Stable sharing rules and participation in pools of essential patents [J]. *Games and Economic Behavior*, 2019, 117: 40-58
- [26] Sarmah A, De Giovanni D, De Giovanni P. Compulsory licenses in the pharmaceutical industry: Pricing and R&D strategies [J]. *European Journal of Operational Research*, 2019.
- [27] Reisinger M, Tarantino E. Patent pools, vertical integration, and downstream competition [J]. *The RAND Journal of Economics*, 2019, 50(1): 168-200.
- [28] Gao J, Liang Z, Shang J, et al. Remanufacturing with patented technique royalty under asymmetric information and uncertain markets [J]. *Technological and Economic Development of Economy*, 2019: 1-22.
- [29] Bond E W, Saggi K. Patent protection in developing countries and global welfare: WTO obligations versus flexibilities [J]. *Journal of International Economics*, 2020, 122: 103281.
- [30] Banerjee S, Poddar S. “To sell or not to sell”: Licensing versus selling by an outside innovator [J]. *Economic Modelling*, 2019, 76: 293-304.
- [31] 陈 静, 魏 航, 谢 磊. 商业保险在供应链质量风险管理中的应用研究 [J]. *管理科学学报*, 2019, 22(1): 80-93.

- Chen Jing, Wei Hang, Xie Lei. Research on the application of commercial insurance in supply chain quality risk management [J]. *Journal of Management Science*, 2019, 22(1): 80–93. (in Chinese)
- [32] 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.
- [33] Tang S Y, Kouvelis P. Supplier diversification strategies in the presence of yield uncertainty and buyer competition [J]. *Manufacturing and Service Operations Management*, 2011, 13(4): 439–451.
- [34] Hosoda T, Disney S M, Gavirneni S. The impact of information sharing, random yield, correlation, and lead times in closed loop supply chains [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 246(3): 827–836.
- [35] Tajbakhsh M M, Lee C G, Zolfaghari S. On the supplier diversification under binomial yield [J]. *Operations Research Letters*, 2010, 38(6): 505–509.
- [36] Huang H, Li Z, Xu H. Wholesale price auctions for dual sourcing under supply risk [J]. *Decision Sciences*, 2018, 49(4), 754–780.
- [37] 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.
- [38] Leng M, Parlar M. Lead-time reduction in a two-level supply chain: Non-cooperative equilibria vs. coordination with a profit-sharing contract [J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 118(2): 521–544.
- [39] Jeuland A P, Shugan S M. Managing channel profits [J]. *Marketing Science*, 1983, 2(3): 239–272.
- [40] Coughlan A T, Wernerfelt B. On credible delegation by oligopolists: A discussion of distribution channel management [J]. *Management Science*, 1989, 35(2): 226–239.
- [41] Anupindi R, Bassok Y, Zemel E. A general framework for the study of decentralized distribution systems [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2001, 3(4): 349–368.
- [42] De Giovanni P. Closed-loop supply chain coordination through incentives with asymmetric information [J]. *Annals of Operations Research*, 2017, 253(1): 133–167.
- [43] Shen B, Li Q, Dong C, et al. Design outsourcing in the fashion supply chain: OEM versus ODM [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2016, 67(2): 259–268.
- [44] Shang W, Yang L. Contract negotiation and risk preferences in dual-channel supply chain coordination [J]. *International Journal of Production Research*, 2015, 53(16): 4837–4856.
- [45] Ha A Y, Tian Q, Tong S. Information sharing in competing supply chains with production cost reduction [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2017, 19(2): 246–262.
- [46] Broekmeulen R A C M, Sternbeck M G, van Donselaar K H, et al. Decision support for selecting the optimal product unpacking location in a retail supply chain [J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 259(1): 84–99.

## Monopoly, licensing or sharing: Patent operation strategy for high-tech firms with random yield

*HUANG He*<sup>1</sup>, *ZENG Neng-min*<sup>1, 2</sup>, *XU Hong-yan*<sup>1</sup>

1. School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. School of Economics and Management, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

**Abstract:** This paper investigates the patent operation strategies for the upstream high-tech firms with random yield in supply chains. A supply chain with one upstream supplier and one downstream manufacturer is studied under three common patent strategies: monopoly, licensing and sharing. Under the monopoly strategy, the upstream supplier produces the high-tech components himself for the downstream manufacturer and suffers from

the random yield. Under the licensing strategy, the supplier does not produce the components but authorizes the technology to a reliable foundry by charging a patent license fee. Under the sharing strategy, the supplier shares the patent to the foundry to insure that the shortfall order can be made up by the foundry after the supplier's random yield is realized. The results show that when the market potential faced by the manufacturer is small, the patent licensing is the dominant strategy for the high-tech supplier. When the market potential is large, the high-tech supplier chooses the monopoly strategy if its reliability is low and the sharing strategy if the opposite is the case. Compared with the decentralized decision scenario, the dominance interval of the licensing strategy is enlarged but that of the monopoly strategy is shrunk in the centralized decision scenario. This study also shows that there exists a distortion between the optimal patent strategy for the supplier and that for the whole supply chain, and that the degree of distortion will be enlarged by the decrease of start-up cost but weakened by the increase of supply risk.

**Key words:** supply chain management; supply risk; patent strategy

## 附录

引理 1 的证明 独占战略下, 式(1)可化为

$$\pi_m^0 = \int_0^b \frac{(D - a\delta Q_m) \delta Q_m - \delta Q_m w_m}{b} d\delta = -\frac{1}{3} ab^2 Q_m^2 + \frac{1}{2} b Q_m (D - w_m)$$

令  $\partial \pi_m^0 / \partial Q_m = 0$  得一阶条件解为

$$Q_m = \frac{3}{4} \frac{D - w_m}{ab} \quad (\text{A1})$$

由于  $\partial^2 \pi_m^0 / \partial Q_m^2 = -2ab^2/3 < 0$ , 因此上述一阶条件解就是最优解. 将式(A1)代入式(2)并化简得  $\pi_m^H = 3(w_m - c)(D - w_m)/(8a) - C$ , 其一阶条件解为  $w_m = (D + c)/2$ , 由于  $\partial^2 \pi_m^H / \partial w_m^2 = -3/(4a) < 0$ , 因此上述一阶条件解就是最优解, 即

$$w_m^* = \frac{D + c}{2} \quad (\text{A2})$$

把式(A2)代入式(A1)可得

$$Q_m^* = \frac{3}{8} \frac{D - c}{ba} \quad (\text{A3})$$

再把式(A2)代入  $\pi_m^H$  可得供应商的最优期望利润为  $\pi_m^{H*} = 3(D - c)^2/(32a) - C$ ; 把式(A2)和式(A3)代入  $\pi_m^0$  可得制造商的最优期望利润为  $\pi_m^{0*} = 3(D - c)^2/(64a)$ . 因此独占战略下整条供应链的最优期望利润为  $\pi_m^{S*} = \pi_m^{H*} + \pi_m^{0*} = 9(D - c)^2/(64a) - C$ .

授权战略下, 式(3)的一阶条件解为

$$Q_l = \frac{D - w_l}{2a} \quad (\text{A4})$$

而且  $\partial^2 \pi_l^0 / \partial Q_l^2 = -2a < 0$ , 因此上述一阶条件解就是最优解. 将式(A4)代入式(4)并化简得  $\pi_l^F = (w_l - c - \mu_l)(D - w_l)/(2a)$ , 其一阶条件解为

$$w_l = \frac{D + c + \mu_l}{2} \quad (\text{A5})$$

而且  $\partial^2 \pi_l^F / \partial w_l^2 = -1/2 < 0$ , 因此上述一阶条件解就是最优解. 将式(A4)和式(A5)代入式(5)并化简得  $\pi_l^H = \mu_l(D - c - \mu_l)/(4a)$ , 其一阶条件解为  $\mu_l = (D - c)/2$ , 而且  $\partial^2 \pi_l^H / \partial \mu_l^2 = -2 < 0$ , 因此上述一阶条件解就是最优解, 即

$$\mu_l^* = \frac{D - c}{2} \quad (\text{A6})$$

把式(A6)代入式(A5)得

$$w_l^* = \frac{3D + c}{4} \tag{A7}$$

把上式代入式(A4)得  $Q_l^* = (D - c) / (8a)$  . 把式(A6)代入  $\pi_l^H$  可得供应商的最优利润为  $\pi_l^{H*} = (D - c)^2 / (16a)$  ; 把式(A6)、式(A7)代入  $\pi_l^F$  可得代工厂商的最优利润为  $\pi_l^{F*} = (D - c)^2 / (32a)$  ; 再把  $Q_l^*$  和式(A7)代入式(3)得制造商的最优利润为  $\pi_l^{0*} = (D - c)^2 / (64a)$  . 因此授权战略下整条供应链的最优利润为  $\pi_l^{S*} = \pi_l^{H*} + \pi_l^{F*} + \pi_l^{0*} = 7 \times (D - c)^2 / (64a)$  .

共享战略下,式(6)的一阶条件解为

$$Q_s = \frac{D - w_s}{2a} \tag{A8}$$

而且  $\partial^2 \pi_s^0 / \partial Q_s^2 = -2a < 0$  , 因此上述一阶条件解就是最优解. 将式(A8)代入式(7)并化简得  $\pi_s^H = (c - w_s)(D - w_s)(\alpha b - 2\alpha - b) / (4a) - C$  , 其一阶条件解为  $w_s = (D + c) / 2$  , 而且  $\partial^2 \pi_s^H / \partial w_s^2 = (\alpha b - 2\alpha - b) / (2a) < 0$  , 因此该一阶条件解就是最优解,即

$$w_s^* = \frac{D + c}{2} \tag{A9}$$

将上式代入式(A8)得

$$Q_s^* = \frac{D - c}{4a} \tag{A10}$$

把式(A9)代入  $\pi_s^H$  可得供应商的最优期望利润为  $\pi_s^{H*} = (D - c)^2(2\alpha + b - \alpha b) / (16a) - C$  ; 把式(A9)、式(A10)代入式(6)可得制造商的最优利润为  $\pi_s^{0*} = (D - c)^2 / (16a)$  ; 由于代工厂商的期望利润为  $\pi_s^F = E_\delta((1 - \alpha)(w_s - c)(1 - \delta)Q_s)$  , 因此只需把式(A9)、式(A10)代入并化简即得代工厂商的最优期望利润为  $\pi_s^{F*} = (D - c)^2(1 - \alpha)(2 - b) / (16a)$  . 共享战略下整条供应链的最优利润为  $\pi_s^{S*} = \pi_s^{H*} + \pi_s^{F*} + \pi_s^{0*} = 3(D - c)^2 / (16a) - C$  . 证毕.

**引理 2 的证明** 令式(1)、式(2)和式(7)中的  $\delta$  等于 1, 然后按照引理 1 相同的思路, 即得引理 2. 证毕.

**推论 1 的证明** 由于  $Q_m^* - Q_m^{N*} = (3 - 2b)(D - c) / 8ab > 0$  , 因此  $Q_m^* > Q_m^{N*}$  且  $\partial(Q_m^* - Q_m^{N*}) / \partial b < 0$  . 证毕.

**推论 2 的证明** 根据引理 1 和引理 2, 容易发现  $Q_s^* = Q_s^{N*}$  和  $\pi_s^{S*} = \pi_s^{NS*}$  ; 而且,  $Q_m^* - Q_s^* = (3 - 2b)(D - c) / 8ab > 0$  即  $Q_s^* < Q_m^*$  . 证毕.

**推论 3 的证明** 根据引理 1, 容易发现  $\mu_l = w_m^* = w_s^*$  ; 而且,  $Q_s^* - Q_l^* = (D - c) / (8a) > 0$  即  $Q_l^* < Q_s^*$  , 由推论 2 可知  $Q_s^* < Q_m^*$  , 因此  $Q_l^* < Q_s^*$  且  $Q_l^* < Q_m^*$  . 证毕.

**定理 1 的证明** 1) 若  $D < \lambda_1$  , 由于

$$\lambda_1 = \begin{cases} c + 4\sqrt{2aC}, & b \leq b_1 \\ c + 4\sqrt{aC/(b + 2\alpha - 1 - \alpha b)}, & b > b_1 \end{cases}$$

因此需分如下两种情况讨论:

i) 当  $b \leq b_1$  时,  $\lambda_1 = c + 4\sqrt{2aC}$  . 此时  $D < \lambda_1$  等价于  $(D - C)^2 / (32a) < C$  . 于是  $\pi_l^{H*} - \pi_m^{H*} = C - (D - c)^2 / (32a) > 0$  . 而  $b \leq b_1$  又等价于  $3 + 2\alpha b - 4\alpha - 2b \geq 0$  , 于是  $\pi_m^{H*} - \pi_s^{H*} = (3 + 2\alpha b - 4\alpha - 2b)(D - c)^2 / (32a) \geq 0$  . 因此  $\pi_l^{H*} > \pi_m^{H*} \geq \pi_s^{H*}$  .

ii) 当  $b > b_1$  时,  $\lambda_1 = c + 4\sqrt{aC/(b + 2\alpha - 1 - \alpha b)}$  . 此时  $D < \lambda_1$  等价于  $(b + 2\alpha - 1 - \alpha b)(D - c)^2 / (16a) < C$  . 于是  $\pi_l^{H*} - \pi_s^{H*} = C - (b + 2\alpha - 1 - \alpha b)(D - c)^2 / (16a) > 0$  . 而  $b > b_1$  又等价于  $3 + 2\alpha b - 4\alpha - 2b < 0$  , 于是  $\pi_s^{H*} - \pi_m^{H*} = -(3 + 2\alpha b - 4\alpha - 2b)(D - c)^2 / (32a) > 0$  . 因此  $\pi_l^{H*} > \pi_s^{H*} > \pi_m^{H*}$  .

综合 i) 和 ii) 可知, 若  $D < \lambda_1$  , 总有  $\pi_l^{H*} > \pi_m^{H*}$  且  $\pi_l^{H*} > \pi_s^{H*}$  , 即  $\pi_l^{H*} > \max(\pi_m^{H*}, \pi_s^{H*})$  .

2) 若  $D \geq \lambda_1$  , 由于

$$\lambda_1 = \begin{cases} c + 4\sqrt{2aC}, & b \leq b_1 \\ c + 4\sqrt{aC/(b + 2\alpha - 1 - \alpha b)}, & b > b_1 \end{cases}$$

因此分如下两种情况讨论:

i) 当  $b \leq b_1$  时,  $\lambda_1 = c + 4\sqrt{2aC}$ . 此时  $D \geq \lambda_1$  等价于  $\frac{(D-c)^2}{32a} \geq C$ . 于是  $\pi_l^{H^*} - \pi_m^{H^*} = C - (D-c)^2/(32a) \leq 0$ . 而  $b \leq b_1$  又等价于  $3 + 2\alpha b - 4\alpha - 2b \geq 0$ , 于是  $\pi_m^{H^*} - \pi_s^{H^*} = (3 + 2\alpha b - 4\alpha - 2b)(D-c)^2/(32a) \geq 0$ . 因此  $\pi_m^{H^*} \geq \pi_l^{H^*}$  且  $\pi_m^{H^*} \geq \pi_s^{H^*}$ , 即  $\pi_m^{H^*} \geq \max(\pi_l^{H^*}, \pi_s^{H^*})$ .

ii) 当  $b > b_1$  时,  $\lambda_1 = c + 4\sqrt{aC/(b + 2\alpha - 1 - \alpha b)}$ . 此时  $D \geq \lambda_1$  等价于  $(b + 2\alpha - 1 - \alpha b)(D-c)^2/(16a) \geq C$ . 于是  $\pi_l^{H^*} - \pi_s^{H^*} = C - (b + 2\alpha - 1 - \alpha b)(D-c)^2/(16a) \leq 0$ . 而  $b > b_1$  又等价于  $3 + 2\alpha b - 4\alpha - 2b < 0$ , 于是  $\pi_s^{H^*} - \pi_m^{H^*} = -(3 + 2\alpha b - 4\alpha - 2b)(D-c)^2/(32a) > 0$ . 因此  $\pi_s^{H^*} \geq \pi_l^{H^*}$  且  $\pi_s^{H^*} > \pi_m^{H^*}$ , 即  $\pi_s^{H^*} \geq \max(\pi_m^{H^*}, \pi_l^{H^*})$ . 证毕.

**引理 3 的证明** 在独占战略中, 先求出集中决策下的订货量和供应链利润. 集中决策下, 需要确定一个订货量  $Q_m$  以最大化供应链利润, 即

$$\max_{Q_m} \pi_m^S = E_\delta((D - a\delta Q_m)\delta Q_m - \delta Q_m c - C) \tag{A11}$$

目标函数可化简为  $\pi_m^S = -ab^2 Q_m^2/3 + bQ_m(D-c)/2 - C$ , 其一阶条件解为  $Q_m = 3(D-c)/(4ab)$ . 容易验证,  $\pi_m^S$  是一个关于  $Q_m$  的凹函数 (即  $\partial^2 \pi_m^S / \partial Q_m^2 < 0$ ), 因此该一阶条件解就是最优解, 即  $Q_m^{**} = 3(D-c)/(4ab)$ . 将  $Q_m^{**}$  代入  $\pi_m^S$ , 可得集中决策下供应链的最优利润  $\pi_m^{S**} = 3(D-c)^2/(16a) - C$ . 结合引理 1 可知集中决策比分散决策多出来的利润为  $\Delta\pi_m = \pi_m^{S**} - \pi_m^{S*} = 3(D-c)^2/(64a)$ . 接下来采用 Leng 和 Parlar<sup>[38]</sup> 中的利润共享合同进行协调, 多出来的利润由供应商和制造商平分. 因此协调后, 供应商的利润为  $\pi_m^{H**} = \pi_m^{H*} + \Delta\pi_m/2 = 15(D-c)^2/(125a) - C$ , 制造商的利润为  $\pi_m^{0**} = \pi_m^{0*} + \Delta\pi_m/2 = 9(D-c)^2/(128a)$ .

同理, 在授权战略中, 先求出集中决策下的订货量和供应链利润. 集中决策下, 需要确定一个订货量  $Q_l$  以最大化供应链利润, 即

$$\max_{Q_l} \pi_l^S = (D - aQ_l)Q_l - cQ_l$$

上式的一阶条件解为  $Q_l = (D-c)/(2a)$ . 容易验证,  $\pi_l^S$  是一个关于  $Q_l$  的凹函数, 因此该一阶条件解就是最优解, 即  $Q_l^{**} = (D-c)/(2a)$ . 将  $Q_l^{**}$  代入  $\pi_l^S$  即得集中决策下供应链的最优利润  $\pi_l^{S**} = (D-c)^2/(4a)$ . 结合引理 1 可知集中决策比分散决策多出来的利润为  $\Delta\pi_l = \pi_l^{S**} - \pi_l^{S*} = 9(D-c)^2/(64a)$ . 多出来的利润由供应商、代工厂商和制造商平分. 因此实现供应链协调后, 供应商的利润为  $\pi_l^{H**} = \pi_l^{H*} + \Delta\pi_l/3 = 7(D-c)^2/(64a)$ , 代工厂商的利润为  $\pi_l^{F**} = \pi_l^{F*} + \Delta\pi_l/3 = 5(D-c)^2/(64a)$ , 制造商的利润为  $\pi_l^{0**} = \pi_l^{0*} + \Delta\pi_l/3 = (D-c)^2/(16a)$ .

同理, 在共享战略中, 先求出集中决策下的订货量和供应链利润. 集中决策下, 需要确定一个订货量  $Q_s$  以最大化供应链利润, 即

$$\max_{Q_s} \pi_s^S = (D - aQ_s)Q_s - cQ_s - C$$

上式的一阶条件解为  $Q_s = (D-c)/(2a)$ . 容易验证,  $\pi_s^S$  是一个关于  $Q_s$  的凹函数, 因此该一阶条件解就是最优解, 即  $Q_s^{**} = (D-c)/(2a)$ . 将  $Q_s^{**}$  代入  $\pi_s^S$  即得集中决策下供应链的最优利润  $\pi_s^{S**} = (D-c)^2/(4a) - C$ . 结合引理 1 可知集中决策比分散决策多出来的利润为  $\Delta\pi_s = \pi_s^{S**} - \pi_s^{S*} = (D-c)^2/(16a)$ . 由于在分散决策中, 代工厂商并不参与任何决策, 因此多出来的利润  $\Delta\pi_s$  并不分给他, 即  $\Delta\pi_s$  由供应商和制造商平分. 因此, 协调后供应商的利润为  $\pi_s^{H**} = \pi_s^{H*} + \Delta\pi_s/2 = (1 + 2b + 4\alpha - 2\alpha b)(D-c)^2/(32a) - C$ , 制造商的利润为  $\pi_s^{0**} = \pi_s^{0*} + \Delta\pi_s/2 = 3(D-c)^2/(32a)$ . 证毕.

**推论 4 的证明** 根据引理 3 和表 1 可得,  $\pi_m^{NH**} - \pi_m^{H**} - (\pi_m^{NH*} - \pi_m^{H*}) = (D-c)^2/(128a)$ , 即  $\pi_m^{NH**} - \pi_m^{H**} > \pi_m^{NH*} - \pi_m^{H*}$ ;  $\pi_m^{NO**} - \pi_m^{0**} - (\pi_m^{NO*} - \pi_m^{0*}) = (D-c)^2/(128a)$ , 即  $\pi_m^{NO**} - \pi_m^{0**} > \pi_m^{NO*} - \pi_m^{0*}$ ;  $\pi_m^{NS**} - \pi_m^{S**} - (\pi_m^{NS*} - \pi_m^{S*}) = (D-c)^2/(64a)$ , 即  $\pi_m^{NS**} - \pi_m^{S**} > \pi_m^{NS*} - \pi_m^{S*}$ . 证毕.

**定理 2 的证明** 采用和定理 1 相同的思路, 定理 2 同理可证. 证毕.

**推论 5 的证明** 由于  $b_1 - b_2 = (3 - 4\alpha)/(2 - 2\alpha) - (11 - 16\alpha)/(8 - 8\alpha) = 1/(8 - 8\alpha) > 0$ . 因此  $b_1 > b_2$ .



由于

$$\lambda_1 = \begin{cases} c + 4\sqrt{2aC}, & b \leq b_1 \\ c + 4\sqrt{aC/(b + 2\alpha - 1 - \alpha b)}, & b > b_1 \end{cases}$$

且

$$\lambda_2 = \begin{cases} c + 8\sqrt{2aC}, & b \leq b_2 \\ c + 8\sqrt{aC/(4b + 8\alpha - 5 - 4\alpha b)}, & b > b_2 \end{cases}$$

又因为  $b_1 > b_2$ , 故分如下情况讨论:

1) 当  $b \leq b_2$  时,  $\lambda_1 = c + 4\sqrt{2aC}$ ,  $\lambda_2 = c + 8\sqrt{2aC}$ , 此时  $\lambda_2 - \lambda_1 = 4\sqrt{2aC} > 0$ , 即  $\lambda_2 > \lambda_1$ .

2) 当  $b_2 < b \leq b_1$  时,  $\lambda_1 = c + 4\sqrt{2aC}$ ,  $\lambda_2 = c + 8\sqrt{aC/(4b + 8\alpha - 5 - 4\alpha b)}$ . 容易发现  $\lambda_2$  关于  $b$  单调递减, 故有  $\lambda_2 \geq c + 8\sqrt{aC/(4b_1 + 8\alpha - 5 - 4\alpha b_1)} = c + 8\sqrt{aC}$ . 因此  $\lambda_2 - \lambda_1 \geq c + 8\sqrt{aC} - (c + 4\sqrt{2aC}) = 4(2 - \sqrt{2})\sqrt{aC} > 0$ , 即  $\lambda_2 > \lambda_1$ .

3) 当  $b > b_1$  时,  $\lambda_1 = c + 4\sqrt{aC/(b + 2\alpha - 1 - \alpha b)}$ ,  $\lambda_2 = c + 8\sqrt{aC/(4b + 8\alpha - 5 - 4\alpha b)}$ . 此时

$$\begin{aligned} \lambda_2 - \lambda_1 &= 4\sqrt{aC} \left( \frac{2}{\sqrt{4b + 8\alpha - 5 - 4\alpha b}} - \frac{1}{\sqrt{b + 2\alpha - 1 - \alpha b}} \right) \\ &= 4\sqrt{aC} \left( \frac{\sqrt{4(b + 2\alpha - 1 - \alpha b)} - \sqrt{4b + 8\alpha - 5 - 4\alpha b}}{\sqrt{4b + 8\alpha - 5 - 4\alpha b} \sqrt{b + 2\alpha - 1 - \alpha b}} \right) \end{aligned}$$

由于  $4(b + 2\alpha - 1 - \alpha b) > (4b + 8\alpha - 5 - 4\alpha b)$  即  $\sqrt{4(b + 2\alpha - 1 - \alpha b)} - \sqrt{4b + 8\alpha - 5 - 4\alpha b} > 0$ , 因此  $\lambda_2 > \lambda_1$ .

综上, 总有  $\lambda_2 > \lambda_1$ .

证毕.

**定理 3 的证明** 根据定理 2 有  $\pi_i^{S^{**}} - \pi_m^{S^{**}} = (D - c)^2 / (16a) + C$ ,  $\pi_i^{S^{**}} - \pi_s^{S^{**}} = C$ , 因此,  $\pi_i^{S^{**}} > \pi_m^{S^{**}}$  且  $\pi_i^{S^{**}} > \pi_s^{S^{**}}$ .

证毕.

**推论 6 的证明** 由于  $\lambda_2 = \min(c + 8\sqrt{2aC}, c + 8\sqrt{aC/(4b(1 - \alpha) + 8\alpha - 5)})$ , 显然,  $\partial\lambda_2/\partial b \leq 0$  且  $\partial\lambda_2/\partial C > 0$ .

证毕.