

基于双边激励的产学研合作最优利益分配方式^①

黄波, 孟卫东, 李宇雨

(重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400044)

摘要: 考虑研发成功概率与研发投入相关, 产品市场收益与市场投入相关, 研究了如何通过合理的利益分配来防范产学研合作中的道德风险, 促使研发方按契约规定进行资源投入. 对比分析了固定支付方式、产出分享方式、混合方式以及改进混合方式等分配方式的激励效率, 并在此基础上找出了不同外部环境下的最优利益分配方式. 最后通过算例及案例分析对主要研究结论进行了验证.

关键词: 产学研合作; 利益分配方式; 双边激励

中图分类号: F016 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2011)07-0031-12

0 引言

随着产品研发过程中的不确定性和技术风险性的增加, 越来越多的企业将研发环节委托给高校或科研机构(以下简称研发方), 以达到降低技术风险、利用优势研发资源、缩短产品研发周期等目的^[1]. 然而, 由于研发方努力程度或知识要素等研发投入难以观测和精确计量, 加之企业因处于信息劣势而无法对研发方实施完全监督, 这就使得研发方有强烈动机采取投机行为(即道德风险), 减少研发投入, 以企业的损失为代价获取自身利益^[2].

如何防范道德风险, 激励研发方增加研发投入一直是产学研合作的研究热点之一, 国内外学者从声誉机制、监督、控制机制以及税收、补贴机制等方面对此进行了研究. 如易余胤等^[3]运用演化博弈对合作研发中的机会主义行为进行了分析, 并研究了监督机制对防范机会主义行为的有效性. 吴华清等^[4]考虑研发机构的约束条件, 建立了基于关系契约的合作研发重复博弈模型, 分析了企业与研发机构间最优的长期契约安排. Li

等^[5]通过合作研发的实证研究发现, 企业将控制模式优选作为合作中道德风险的防范机制之一. 刘学等^[6]研究了企业对研发方的控制战略选择、关系治理模式和信任关系处理与联盟绩效的关系. Marceau^[7]通过对澳大利亚不同行业的产学研合作动态的实证研究, 分析了旨在提高研发投入的补贴政策及相关方法的局限性, 并提出了相应的建议. 事实上, 不同外部环境下, 不同利益分配方式对企业和研发方的激励效率不同, 因此, 可以通过不同外部环境下的最优利益分配契约设计来激励研发方提高研发投入^[8-9]. 国内外学者运用委托代理理论对如何通过利益分配契约设计来激励研发投入进行了深入研究, 如: 马亚男^[10]运用多任务委托代理模型研究了如何通过设计最优分配率或分配率区间对产学研研发联盟成员进行激励, 并对最优契约的特征进行了分析. 曹兴和石中华^[11]通过对技术委托开发中的委托代理关系特点的分析, 运用米尔利斯—霍姆斯特姆模型方法对技术委托开发最优契约特征进行了分析. Crama等^[12]研究了研发成果价值为研发方私人信息, 且发包方无法控制承包方努力程度的条件

① 收稿日期: 2009-04-07; 修订日期: 2010-09-28.

基金项目: 国家社会科学基金重点资助项目(08AJY028); 教育部人文社会科学研究项目(09YJC790279).

作者简介: 黄波(1972—), 男, 重庆人, 博士, 讲师. Email: huangbo33@163.com

下,发包方如何设计最优外部契约防范研发方道德风险.鲁若愚等^[13]构造了校企合作研发利益分配委托代理模型,证明了校企在合作创新不同阶段对分配方式具有不同偏好.骆品亮和周勇^[14]通过构建一个盟主两个成员的双代理人委托代理模型,研究了如何将虚拟研发组织的利益分配和激励措施相结合,提高联盟成员研发投入. La-cetera^[15]考虑两家企业分别两所高校进行研发合作,运用多任务委托代理模型研究了存在溢出效应条件下的产学合作研发激励机制.但现有委托代理理论对道德风险情形下最优契约设计的研究,只是给出了最优契约应满足的一般特征,即在满足 MLRP 和 CDFC 条件下,对代理人的支付应该与产出正相关.然而在产学研合作实践中存在多种不同的契约方式,以上研究未能解答为什么在相似背景下会存在不同契约方式,这些契约方式的激励效率如何,是否为最优契约,是否还存在能产生更高社会剩余的契约等问题.

基于此,本文考虑研发存在技术风险,且研发成功概率与研发方投入相关,市场收益与企业投入相关,研究现实中所采用的三种利润分配方式(即固定支付方式、产出分享方式和混合方式^[16])对合作双方的激励效率,并对混合方式进行改进,在对以上问题进行解答的基础上,通过对不同契约的激励效率的比较分析,选择合适的契约方式,促进产学研合作成功.

1 问题描述及模型建立

1.1 博弈顺序及分配方式描述

市场上某企业计划开发一种新产品,企业以契约的形式将产品研发活动外包给高校或科研机构(即研发方),自己只负责产品的市场导入、生产、销售等环节.双方合作及博弈过程如下:首先双方以最大化研发外包总利润为目标决定研发方的最优研发投入和企业市场导入、生产、销售等环节的投入(以下简称市场投入)的最优值;接着企业从固定支付方式、产出分享方式和混合方式中选择一种分配方式与研发方进行合作,若选择固定支付方式则需决定买断费的大小,若选择产出分享或混合方式则以双方最优投入的比例为分

配比例;接着研发方选择是否合作,若选择合作,则因道德风险的存在,双方将以自身利润最大化为目标决定各自的实际投入量;研发存在技术风险,若研发失败则合作结束,若研发成功则研发方将研发成果交给企业;企业进行市场投入并在获得市场收益后按契约与研发方分享收益(若是固定支付方式,则是在转移研发成果时支付买断费).双方博弈顺序如图1所示.

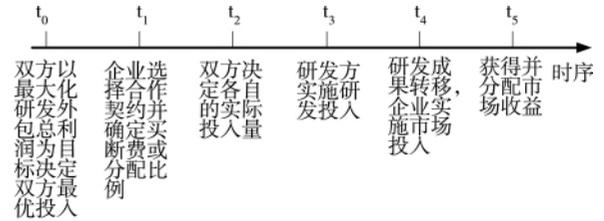


图1 合作研发时序

Fig. 1 Time sequence of cooperative R&D

企业在合作中处于领导地位,可从固定支付方式、产出分享方式和混合方式中选择一种利益分配方式与研发方进行合作.在固定支付方式中,企业先向研发方支付一定的研发启动经费,研发方则需按约定投入资源进行研发,研发成功后再由企业向其一次性支付技术开发或转让费用,若研发失败(包括研发方投入资源但研发失败,或研发方根本未进行研发而声称研发失败),则企业无需再支付任何费用,研发方也不用退还研发启动经费.在产出分享方式中,双方签订契约规定各自的资源投入量,并约定:若研发成功,则以双方的资源投入量为比例分配市场收益,若研发失败,则由研发方独立承担研发费用.在混合方式中,双方仍按约定的资源投入量为比例分配市场收益,但企业需向研发方预支部分收益作为研发费用,若研发成功,企业将从研发方的收益中扣除预支部分,若研发失败,研发方无需退还企业所预支费用,企业也无需再支付任何费用.

三种分配方式各有特点,采用固定支付方式,研发方的收益为企业支付的买断费,与外部市场环境无关,加之企业预支了启动经费,因此研发方就会有强烈的动机采取降低投入甚至不投入的机会主义行为,从而制约了研发成功的可能性,尤其在买断费较小,或启动经费较大时,这种道德风险更大.采用产出分享方式,合作双方的收益均与市场环境密切相关,因此研发方不但承担了研发技

术风险还承担了市场风险,在研发方风险承受能力较弱的情况下,研发方可能很难接受这种协议。采用混合方式,企业不仅将双方的收益紧密联系,而且分担了研发方的技术风险,提高了研发方的风险承担能力,但是,由于企业预支了部分收益,研发方会有侵占预支收益的动机,因此研发方的道德风险比产出分享方式更大。

无论哪种分配方式下,由于企业无法对研发方实施完全监督,因此,研发方在合作中会有强烈的动机采取投机行动,如:降低研发投入以提高自身收益,甚至不进行研发投入,以侵占企业预支的收益或启动经费。为此,企业应根据新产品市场收益,选择合理的利益分配方式与研发方合作,激励其在自利行为驱使下减少甚至放弃投机行为,增加研发投入量,最大化企业利润。

1.2 产学研合作模型

假设企业计划开发一种预期市场收益为 M 的新产品,企业将产品研发活动外包给高校或科研机构(即研发方),自己负责产品的市场导入、生产、销售等环节,双方以最大化合作研发期望总利润为目标约定研发方的研发投入 C_r 和企业的市场投入 C_m ,但由于研发方道德风险的存在,其研发实际投入未必是 C_r ,而是 $[0, C_r]$ 中的任意数;同样,企业也会以最大化自身收益为目标,从 $[0, C_m]$ 中选择其实际市场投入。

企业可以选择三种利益分配方式与研发方合作,即固定支付方式、产出分享方式和混合方式。在固定支付方式中,企业预先支付给研发方费用 αB (其中 B 为研发成果买断费, α 为预支比例) 作为研发启动经费,研发成功后再向研发方一次性支付转让费用 $(1 - \alpha) B$,其中 α 为市场平均预支支付比例 $0 < \alpha < 1$;在产出分享方式中,双方以约定的企业市场投入 C_m 和研发方研发投入 C_r 为比例分享市场收益,命 $n = C_m / C_r$,即双方按 $n : 1$ 的比例分配市场收益;在混合方式中,双方仍按 $n : 1$ 的比例分配市场收益,但企业向研发方预支报酬 $\alpha M / (n + 1)$ (由于双方在签订合作契约时约定企业的市场投入为 C_m ,因此,这里按市场投入为 C_m 的市场收益 M 计算研发方的预支报酬)。若研发失败,研发方无需退还企业所预支费用,企业也无需再支付任何费用。

新产品研发存在技术风险,其大小与研发方研发实际投入相关,即研发方研发成功的概率 P 为其研发投入 x 的函数 $P = P(x)$, $P(x)$ 满足下列条件:

- 1) $P(0) = 0, \lim_{x \rightarrow \infty} P(x) = 1$;
- 2) $P'(x) > 0, P''(x) < 0$;
- 3) $P'(0) = \eta, \lim_{x \rightarrow \infty} P'(x) = 0$, 其中 η 为任意正实数。

新产品的市场收益 M 为企业市场投入 y 的函数 $M = M(y)$, $M(y)$ 满足下列条件:

- 1) $M(0) = M_1, \lim_{y \rightarrow \infty} M(y) = M_2$, 其中 $0 < M_1 < M_2$;
- 2) $M'(y) > 0, M''(y) < 0$;
- 3) $M'(0) = \beta, \lim_{y \rightarrow \infty} M'(y) = 0$, 其中 β 为任意正实数。

由此可得,研发外包期望总利润为

$$\pi = P(x) [M(y) - y] - x \quad (1)$$

新产品的市场收益函数 $M(y)$, 以及研发成功概率函数 $P(x)$ 为双方共同知识,但研发方的研发实际投入量 and 企业的实际市场投入量均为各自的私人信息。

在双方合作过程中,企业处于主导地位,需做出的决策包括利益分配方式的选择,固定支付方式下的买断费用,以及不同分配方式下的市场投入量,研发方则需抉择是否接受分配方案,以及不同分配方式下的研发投入量。

在合作中,企业希望研发方按照合同约定投入 C_r 进行研发,最大化研发成功概率和企业利润,尤其在企业预付了部分费用时,若研发方实施投机行为,企业将不仅失去一次商机,还将损失所预付的费用,这显然是企业所不愿出现的情况,为此,企业除了在研发方选择、契约的完善以及强化监督上加大力度外,更应该通过分配方式设计,激励研发方增加投入,最大化企业利润。

论文以下部分将对三种利益分配方式的激励效率进行比较分析,并对混合方式进行改进,在此基础上找出不同外部环境下的最优分配方式,促进产学研合作的成功。

2 基于激励效率的分配方式分析

在签订合作契约之前,双方以最大化研发外

包期望总利润为目标确定最优研发投入和市场投入. 联立求解 $\partial\pi/\partial x = 0$ 和 $\partial\pi/\partial y = 0$ 可得最优研发投入 $C_r = P^{-1} \left[\frac{1}{M(C_m) - C_m} \right]$ 和市场投入 $C_m = M^{-1}(1)$. 接下来, 企业需要选择一种利益分配方式与研发方合作, 促使合作研发按契约投入资源, 最大化企业利润.

2.1 固定支付方式

固定支付方式下, 企业和研发方期望利润分别为

$$\pi_E = P(x) [M(y) - (1 - \alpha)B - y] - \alpha B \tag{2}$$

$$\pi_R = P(x) (1 - \alpha)B - x + \alpha B \tag{3}$$

固定支付方式下, 双方首先以自身利润最大化为目标决定各自投入. 求解 $\partial\pi_E/\partial y = 0$ 和 $\partial\pi_R/\partial x = 0$ 可得最优市场投入 y_1^* 和最优研发投入 x_1^* 分别为

$$y_1^* = M^{-1}(1) \tag{4}$$

$$x_1^* = P^{-1} \left[\frac{1}{(1 - \alpha)B} \right] \tag{5}$$

接着由企业根据研发方的反应函数(即(5)式)确定买断费用, 以最大化期望利润. 将式(5)代入式(2)并求解 $\partial\pi_E/\partial B = 0$, 可得买断费 B^* 为满足下式的解

$$(1 - \alpha)P''[x_1(B)] \{ (1 - \alpha)P[x_1(B)] + \alpha \} B^3 - (1 - \alpha)B + \{ M[M^{-1}(1)] - y \} = 0 \tag{6}$$

2.2 产出分享方式

产出分享方式下, 双方的期望利润分别为

$$\pi_E = P(x) [P_E M(y) - y] \tag{7}$$

$$\pi_R = P(x) P_R M(y) - x \tag{8}$$

其中 P_E 和 P_R 分别为企业和研发方的分配比例, 且 $P_E = n/(n + 1)$, $P_R = 1/(n + 1)$.

产出分享方式下, 双方以自身利润最大化为目标决定各自投入. 求解 $\partial\pi_E/\partial y = 0$ 和 $\partial\pi_R/\partial x = 0$ 可得最优市场投入 y_2^* 和最优研发投入 x_2^* 分别为

$$y_2^* = M^{-1}(1/P_E) \tag{9}$$

$$x_2^* = P^{-1} \left[\frac{1}{P_R M(y_2^*)} \right] \tag{10}$$

由于研发方独自承担了所有的研发技术风险, 但只是按投入比例分得市场收益, 没有得到相应的风险补偿, 因此就有可能导致企业愿意合作

而研发方不愿合作. 鉴于此, 很多企业采用混合方式, 期望通过预支部分收益给研发方作为研发费用, 共担研发风险, 提高研发方期望利润, 实现提高研发方研发投入, 促进双方合作的目的.

2.3 混合方式

混合方式下企业向研发方预支 $\alpha P_R M(C_m)$ 的收益给作为研发费用. 命 $A = \alpha P_R M(C_m)$, 以及研发方研发投入为 A 时的企业市场投入为 \tilde{y} . 不失一般性, 进一步假设: 预支收益不超过研发方研发

最大投入, 即 $A < C_r$, 以及 $\frac{\tilde{y} - P_E M(\tilde{y})}{P_R M(C_m)} < \alpha <$

$\frac{M(\tilde{y})}{M(C_m)}$, 以保证产品研发成功后企业收益

$P_E M(\tilde{y}) + A - \tilde{y}$ 和研发方收益 $P_R M(\tilde{y}) - A$ 均为正.

混合方式下, 双方期望利润分别为

$$\pi_E = P(x) [P_E M(y) + A - y] - A \tag{11}$$

$$\pi_R = P(x) [P_R M(y) - A] - x + A \tag{12}$$

混合方式下, 双方以自身利润最大化为目标决定各自投入. 求解 $\partial\pi_E/\partial y = 0$ 和 $\partial\pi_R/\partial x = 0$ 可得最优市场投入 y_3^* 和最优研发投入 x_3^* 分别为

$$y_3^* = M^{-1}(1/P_E) \tag{13}$$

$$x_3^* = P^{-1} \left[\frac{1}{P_R M(y_3^*) - A} \right] \tag{14}$$

命题 1 与产出分享方式相比, 混合方式反而降低了研发投入, 企业期望利润, 以及双方合作的可能性, 因此, 混合方式对双方的激励效率都低于产出分享方式.

命题 1 证明过程详见附件.

2.4 改进混合方式

通过上述分析, 笔者认为企业可以通过分担研发技术风险以激励研发方投入研发资源, 但不能向研发方预支现金收益, 而应向其提供等值的用于该项目的专用资产(不妨称这种方式为改进混合方式). 在这种方式下, 研发方不投入任何资源进行研发(包括企业提供的专用资产)的期望利润为 0; 相反, 研发方即使仅将企业提供的专用资产用于研发, 其期望利润也将是 $\pi_R = P(A) [P_R M(\tilde{y}) - A] > 0$, 因此, 研发方在该方式下的研发投入至少为 A , 实现了激励研发方提高研发投入的目的.

改进混合方式下,双方的期望利润分别为

$$\pi_E = P(x+A) [P_E M(y) + A - y] - A \quad (15)$$

$$\pi_R = P(x+A) [P_R M(y) - A] - x \quad (16)$$

改进混合方式下,双方以自身利润最大化为目标决定各自投入.求解 $\partial \pi_E / \partial y = 0$ 和 $\partial \pi_R / \partial x = 0$ 可得最优市场投入 y_4^* 和最优研发投入 x_4^* 分别为

$$y_4^* = M^{-1}(1/P_E) \quad (17)$$

$$x_4^* = \text{Max}\left\{0, P^{-1}\left[\frac{1}{P_R M(y_4^*)} - A\right] - A\right\} \quad (18)$$

由此可得,研发方的实际研发投入量 $x_4^* + A$ 为

$$x_4^* + A = \text{Max}\left\{A, P^{-1}\left[\frac{1}{P_R M(y_4^*)} - A\right]\right\} \quad (19)$$

命题2 与混合方式相比,改进混合方式提高了研发方实际研发投入,双方的期望利润以及双方合作的可能性.因此,改进混合方式对双方的激励效率都更高,实现了对混合方式的改进.

命题2证明过程详见附录.

由命题2可知,改进混合方式优于混合方式,因此,在最优分配方式选择时只需根据外部环境从固定支付方式、产出分享方式以及改进混合方式中进行选择.

2.5 基于激励效率的最优分配方式选择

本部分将在对比分析不同利益分配方式对双方激励效率的基础上,找出不同条件下的产学研合作最优利益分配方式.

命题3 ①当 $\text{Max}\{(1-\alpha)B^* P_R M(y_2^*)\} < 1/P(A)$ 时,改进混合方式最能有效激励研发方进行研发投入;当 $P_R M(y_2^*) > 1/P(A)$ 时,若 $(1-\alpha)B^* > P_R M(y_2^*)$,固定支付方式最能有效激励研发方进行研发投入,若 $(1-\alpha)B^* < P_R M(y_2^*)$ 则产出分享方式最能有效激励研发方进行研发投入.②最能有效激励企业进行市场投入的是固定支付方式.③当 $P_R M(y_2^*) < 1/P(A)$ 时,改进混合方式对双方的激励效率比产出分享方式好;当 $P_R M(y_2^*) > 1/P(A)$ 时,产出分享方式对双方的激励效率比改进混合方式好.

命题3证明过程详见附录.

命题3表明,当市场收益较小时,采用固定支

付或产出分享方式均无法激励研发方投入足够多的研发资源时,企业可以考虑采用改进混合方式,向研发方提供一定价值的研发专用资产,由于研发方不进行研发投入的利润为0,而仅将该专用资产用于研发也能获得正收益,研发方就会将专用资产投入到研发中,实现了激励研发方投入更多研发资源的目的,因此改进混合方式对研发方的激励效率最高.

当市场收益增大到产出分享方式下的研发投入大于企业所提供专用资产的价值时,改进混合方式的激励效率就不如产出分享方式,因为此时研发方的研发投入决策主要受研发成功后所能获得收益的影响,产出分享方式下的收益为按比例分配的市场收益,而改进混合方式下则为按比例分得的市场收益减去预支部分,而两种分配方式下的分配比例和市场收益均相同,所以产出分享方式下的研发方收益更高,对研发方的激励效率更高.此时,若固定支付方式下的买断费余额大于产出分享方式下的研发方所得收益,则固定支付方式对研发方的激励效率最高;反之,则产出分享方式对研发方的激励效率最高.

由于在固定支付方式下,企业是合作收益全部剩余价值的索取者,因此,合作总利润最大化等同于企业利润最大化,企业会自愿按契约规定进行市场投入.而在其他两种分配方式下,企业和研发方都是剩余价值索取者,企业就会以自身利益最大化为目标决定市场投入.因此,固定支付方式最能有效激励企业进行市场投入.

当研发投入小于企业所提供专用资产的价值时,由于产出分享和改进混合方式下的市场投入相同,而研发投入均低于最优研发投入 C_r ,且产出分享方式下更小,因此,改进混合方式下的总利润高于产出分享方式,其对双方的激励效率比产出分享方式好.

反之,当研发投入大于企业所提供专用资产的价值时,由于产出分享和改进混合方式下的市场投入相同,而研发投入均低于最优研发投入 C_r ,且改进混合方式下更小,因此,产出分享方式下的总利润高于改进混合方式,其对双方的激励效率比改进混合方式好.

不妨令条件1为 $M[M^{-1}(1)] < \frac{\alpha B^*}{P(x_1^*)} + (1-$

$$\alpha) B^* + M^{-1}(1) M(y_2^*) < \text{Max} \left[\frac{x_2^*}{P_R P(x_2^*)}, \frac{y_2^*}{P_E} \right] \text{ 且}$$

$$M(y_4^*) < \frac{y_4^*}{P_E} + A \frac{1 - P[x_4(y_4^*) + A]}{P_E P[x_4(y_4^*) + A]},$$

$$\text{条件 2 } \frac{y_2^*}{P_E} \leq M(y_2^*) < \frac{x_2^*}{P_R P(x_2^*)} \text{ 且 } M(y_4^*) \geq \frac{y_4^*}{P_E} + A \frac{1 - P[x_4(y_4^*) + A]}{P_E P[x_4(y_4^*) + A]},$$

$$\text{条件 3 } (1 - \alpha) B^* < \text{Max} \left[\frac{x_1^*}{P(x_1^*)}, \frac{1}{P(0)} \right];$$

$$\text{条件 4 } \frac{\text{Max}\{x_1^*/P(x_1^*), 1/P(0)\}}{1 - \alpha} \leq B^* \leq$$

$$\frac{P(x_4^* + A) [P_E M(y_4^*) - y_4^*] - P(x_1^*) [M(y_1^*) - y_1^*] - A}{(1 - \alpha) P(x_1^*) + 1}$$

$$\text{条件 5 } B^* \geq$$

$$\frac{P(x_4^* + A) [P_E M(y_4^*) - y_4^*] - P(x_1^*) [M(y_1^*) - y_1^*] - A}{(1 - \alpha) P(x_1^*) + 1},$$

$$\text{条件 6 } M(y_2^*) > \text{Max} \left\{ \frac{1}{P_R P(A)}, \frac{A}{P_R P(A)} \right\} \text{ 且}$$

$$B^* > \frac{P(x_1^*) [M(y_1^*) - y_1^*] - P(x_2^*) [P_E M(y_2^*) - y_2^*]}{P(x_1^*) (1 - \alpha) + \alpha};$$

$$\text{条件 7 } M(y_2^*) > \text{Max} \left\{ \frac{1}{P_R P(A)}, \frac{A}{P_R P(A)} \right\} \text{ 且}$$

$$B^* < \frac{P(x_1^*) [M(y_1^*) - y_1^*] - P(x_2^*) [P_E M(y_2^*) - y_2^*]}{P(x_1^*) (1 - \alpha) + \alpha};$$

$$\text{条件 8 } \frac{x_2^*}{P(x_2^*) M(y_2^*)} < P_R < \text{Min} \left\{ 1 - \frac{y_2^*}{M(y_2^*)}, \right.$$

$$\left. 1 - Q_1, 1 - Q_2 \right\} \text{ 其中 } Q_1 = \frac{P(A) [P_E M(y_4^*) - y_4^*] - A}{P(x_2^*) M(y_2^*)} +$$

$$\frac{y_2^*}{M(y_2^*)},$$

$$Q_2 = \frac{P(x_1^*) [P_E M(y_1^*) + (1 - \alpha) B^* - y_1^*] - \alpha B^*}{P(x_2^*) M(y_2^*)} +$$

$$\frac{y_2^*}{M(y_2^*)}.$$

由此可得不同条件下的产学研合作最优利益分配方式如下。

命题 4 ① 当条件 1 满足时, 双方无法合作; 当条件 2 和 3 均满足时, 企业应选择改进混合方式; 当条件 2 和 4 均满足时, 企业应选择固定支付

方式; 当条件 2 和 5 均满足时, 企业应选择改进混合方式; 当条件 6 满足时, 企业应选择产出分享方式; 当条件 7 满足时, 企业应选择固定支付方式。

② 企业除了可用预支收益或提供专用资产的方式外, 还可用提高研发方分配比例的方式来有效激励双方, 当研发方分配比例满足条件 8 时, 企业将采用产出分享方式。

命题 4 证明过程详见附录。

命题 4 表明, 当市场收益过小, 使得三种分配方式下双方的期望利润不能同时非负时, 双方就不能进行合作。当产出分享方式下企业的期望利润非负, 而研发方因没有得到相应的风险补偿导致期望利润为负时, 企业就可以考虑采用固定支付方式或改进混合方式, 预支部分收益或提供专用资产给研发方, 分担其研发技术风险, 提高其期望利润, 激励其进行研发投入, 促进双方的合作, 提高企业期望利润。随着市场收益增大到产出分享方式下的研发投入高于企业所提供专用资产的价值时, 企业就应采用产出分享方式, 提高研发方在研发成功后所分得收益, 以此激励其增加研发投入, 提高研发成功概率, 增加企业期望利润。随着市场收益增加到一定程度, 若继续采用产出分享方式则会使研发方按比例分走过多的收益, 这时, 企业就应采用固定支付方式, 虽然会因此导致研发投入的减少以及合作期望收益的降低, 但是企业的期望利润还是会因研发方所分得收益的大幅减少而提高。

企业除了可以采用预支部分收益或提供专用资产的方式来分担研发技术风险, 提高研发方期望利润, 激励其投入更多研发资源, 还可以考虑以提高研发方分配比例的方式来有效激励其投入更多研发资源, 提高研发成功率和企业期望利润。只要分配比例调整适当, 甚至可以使产出分享方式下的企业期望利润高于其他两种分配方式, 这时, 企业将采用产出分享方式。

由命题 4 可知, 在现实中, 企业若采用产出分享方式与研发方进行合作, 在确定分配比例时, 不必与研发方过于计较, 可适当提高对其研发投入 (如智力资源等隐性资源) 的估价, 提高其分配比例, 促使其提高研发投入量, 从而提高双方利润。

下面以我国军方研发采购中的几个案例分析

对利益分配方式的选择进行印证说明。

案例 1 某自动步枪的研发采购中,采用的是由军方出资,北京某轻武器研究院研发,产品设计定型后,军方将生产订单给了重庆和湖北两家军工企业。该方式的合作过程是军方通过招投标选择研发方,并按进度预付部分研发费用,研发成功后一次付清余款,成果归军方所有。该方式对应的是本文的固定支付方式。

案例 2 枪弹厂借用某钨芯穿甲炮弹改钢芯穿甲炮弹研制所获得的成熟技术方法,自行出资对另一种口径的钨芯穿甲枪弹进行技术革新,将其替换成钢弹芯,从而获得另一种与该钨弹芯功能接近,价格相对便宜的新型穿甲枪弹的技术工艺。军方获知此信息后,当年就对该新型枪弹进行了补充订货。该方式的合作过程是军工企业自行出资研制出产品,成果属企业自身所有,军方只是以订单的方式使其获得应有利润。该方式对应的是本文的产出分享方式。

案例 3 某大口径枪弹厂自行出资近 500 万研制出某霰弹正样机后,经过军方正式立项批准,得到了研制经费 400 万元。两年后该产品正式定型,军方开始逐步向该企业订货,目前,该厂已通过生产获得净利润近 100 万元。该方式合作过程为军工企业通过调研分析,自主投入资金进行研发,待研发出产品正样机后再向军方推荐该产品,军方根据未来战争需求和该项目的预计研制费用决定是否出资研制该项目。若决定出资,军方将按合同拨付研发费用,企业前期投入则作为其沉没成本,不在军方出资范围,但是军方会承诺企业享有该军品的生产优先权,通过订单使企业获得应有收益。该方式对应的是本文的混合方式。

案例 4 我军“枭龙”战斗机的研制中,由某研究所承担了“枭龙”战斗机的发动机研发任务,军方专门投入经费建立了特有的风洞试验室,经过多年努力,成功研制出新一代战机发动机。此后,该所得到一些生产发动机的订单,获得了应有利润。该方式合作过程为由军方和研制单位共同出资研发,军方出大部分资金,包括专用性资产投入,产品研发成功后,通过订单方式来使研制单位获得应有利润。该方式对应的是本文的改进混合

方式。

案例 1 中军品的特征为技术含量较高,风险较大,研发周期较长,产品订购量大(即生产收益高);案例 2 中军品的特征为技术较为成熟,研制风险小,研制周期短,产量较大(即生产收益较高);案例 3 中军品的特征则是技术含量不太高,风险较低,研制周期较短,产量不太大(即生产收益较低);案例 4 中军品的特征为技术含量非常高,风险非常大,研制周期很长,专用性资产投入较高,产品订货量不大(即生产收益较低)的军品。

由此可知,固定支付方式适合于技术风险较大,市场收益高的情况。这种情况下采用固定支付方式,企业以预支部分收益的形式分担了技术风险,同时无需按比例将高市场收益分配给研发方,因此,固定支付方式对双方的激励效率都高。

产出分享方式则适合于技术风险小,市场收益较高的情况。由于技术风险小,研发方愿意投入的研发资源较高,企业就无需分担技术风险,从而降低了其面临的风险,提高了利润,而研发方能按比例分到其应得收益,因此,这种情况下采用产出分享方式对双方的激励效率都高。

混合方式比较适合于技术风险较小,市场收益也较低的情况。由于存在一定的技术风险,研发方的投资积极性不高,企业就应考虑分担部分技术风险以激励研发方;此外,由于市场收益不高,企业向研发方预支的收益以及研发方按比例分到收益都较低,因此,这种情况下采用混合方式对双方的激励效率都高。需要注意的是,若要采用混合方式,企业最好能确定研发方一定会或已经投入了研发资源,正如案例 3 中,军方在枪弹厂已经投入了 500 万研发费用后才向其拨付 400 万继续研发经费,采用混合方式与枪弹厂合作。

改进混合方式则适合于技术风险很大,研发及专用性资产投入较高,而市场收益却较低的情况。这种情况下,企业必须预支较高的经费给研发方,否则无法激励研发方进行投入,加之专用性资产投入较高,企业的最优选择就是以专用性资产代替现金作为预支经费,既可以分担技术风险,又能避免研发方侵占高额预支经费的风险,因此,改进混合方式对双方的激励效率都高。

3 算例分析

产学研合作中合作双方的各项参数如下:

$$P(x) = \frac{x}{\eta + x} M(y) = M_1 + \frac{y(M_2 - M_1)}{0.9 + y},$$

$M_1 = 1, M_2 = 7, \eta = 1.2, \alpha = 5\%$.

求解可得最优研发投入和最优市场投入分别为 $C_r = 0.681, C_m = 1.471$, 研发方和企业的分配比例分别为 $P_R = 31.6\%, P_E = 68.4\%$. 改进混合方式下, 企业所预支报酬为 $P_R = 0.070$.

固定支付方式、产出分享方式、混合方式以及改进混合方式等四种分配方式下, 研发方和企业的各项投入及利润如表 1 所示.

表 1 研发方和企业四种分配方式下的各项投入及利润*

Table 1 Investments and profits of researcher and enterprise under four kinds of profit-sharing arrangements

分配方式	研发投入 x^*	研发实际投入 $x^* + A$	市场投入 y^*	买断费 B^*	研发方利润 π_R	企业利润 π_E	是否合作
固定支付方式	0.285	0.285	1.471	1.933	0.164	0.116	是
产出分享方式 1	0.013	0.013	1.024	0	0.000 1	0.018	是
产出分享方式 2	0.127	0.127	0.889	0	0.013	0.125	是
混合方式	0	0	0	0	0.070	-0.070	否
改进混合方式	0	0.070	1.024	0	0.064	0.023	是

注: 产出分享方式 1 为按最优投入为比例进行分配, 即 $P_R = 31.6\%, P_E = 68.4\%$; 产出分享方式 2 为按企业将研发方分配比例提高后的比例进行分配, 即 $P_R = 40.0\%, P_E = 60.0\%$.

由表 1 可看出, 企业采用混合方式与研发方进行利润分配, 向研发方预支部分收益, 分担其研发技术风险, 以此激励其投入更多研发资源, 但结果正如命题 1 所指出, 混合方式不但降低了研发方研发投入, 而且将企业利润降为负数, 使得双方无法合作; 而相比混合方式, 改进混合方式不但提高了研发方研发投入, 而且将企业利润提高为正数, 促进了双方合作, 实现了对混合方式的改进.

此外, 在产出分享方式下, 由于研发方独自承担了所有研发技术风险, 却只是按投入比例分配收益, 因此其利润远小于企业, 这极大降低了研发方的投资意愿, 其研发实际投入远低于固定支付方式和改进混合方式, 导致双方的期望利润都在这三种方式中最小.

在固定支付或改进混合方式下, 企业在分担研发技术风险的同时, 还面临着研发方的投机风险, 使得市场收益较小时企业利润甚至低于研发方; 但由于企业分担了研发技术风险, 使得研发实际投入和双方总利润得到了大幅提高(其中固定支付方式下研发投入提高了 20 倍, 总利润提高了 9 倍).

当企业主动将研发方分配比例由 31.6% 提高到 39.2% 时, 产出分享方式下的研发投入和

双方利润均得到大幅提高, 企业利润甚至高于固定支付和改进混合方式. 因此, 产出分享方式对企业的激励效率最高, 企业将采用产出分享方式.

下面对模型主要参数进行灵敏度分析, 研究市场收益 M_2 和风险系数 η 的变化对企业和研发方在三种分配方式下的各项投入和利润, 以及企业最优契约选择的影响(由于 M_1 和 M_2 的变化对最优解的影响相近, 故本文仅对 M_2 进行灵敏度分析).

由表 2 可知, 市场收益较小时, 企业向研发方预支部分收益能提高研发方利润, 增加研发实际投入, 提高合作的可能性和企业期望利润, 因此市场收益较小时, 企业应采用固定支付或改进混合方式.

随着市场收益增加, 在市场激励的驱使下, 研发方愿意投入的研发资源高于企业所提供专用资产的价值时, 企业应采用产出分享方式, 以降低自己面临的风险, 提高自身利润.

随着市场收益增加到一定程度, 由于产出分享方式下, 研发方会按比例分走过多的收益, 因此企业应采用固定支付方式, 减少分给研发方的收益, 从而提高自己的利润.

表 2 市场收益 M_2 对企业和研发方的各项投入及利润的影响*

Table 2 The effects of marketing return M_2 on investments and profits of researcher and enterprise

市场收益 M_2	分配方式	研发投入 x^*	研发实际投入 $x^* + A$	市场投入 y^*	买断费 B^*	研发方利润 π_R	企业利润 π_E	是否合作
5	固定支付方式	0.117	0.117	0.997	1.522	0.088	-0.036	否
	产出分享方式	0	0	0	0	0	0	否
	改进混合方式	0	0.034	0.732	0	0.016	0.001	是
7	固定支付方式	0.285	0.285	1.471	1.933	0.164	0.116	是
	产出分享方式	0.013	0.013	1.024	0	0.000 1	0.018	是
	改进混合方式	0	0.070	1.024	0	0.064	0.023	是
9	固定支付方式	0.433	0.433	1.870	2.340	0.274	0.394	是
	产出分享方式	0.302	0.302	1.283	0	0.076	0.427	是
	改进混合方式	0.152	0.258	1.283	0	0.162	0.288	是
16	固定支付方式	0.840	0.840	2.971	3.651	0.771	2.073	是
	产出分享方式	1.096	1.096	2.021	0	1.001	2.036	是
	改进混合方式	0.786	1.031	2.021	0	1.131	1.840	是

注: * 不同收益下的最优分配方式以加粗字体表示。

表 3 风险系数 η 对企业和研发方的各项投入及利润的影响

Table 3 The effects of risk parameter η on investments and profits of researcher and enterprise

风险系数 η	分配方式	研发投入 x^*	研发实际投入 $x^* + A$	市场投入 y^*	买断费 B^*	研发方利润 π_R	企业利润 π_E	是否合作
0.8	固定支付方式	0.309	0.309	1.471	1.618	0.200	0.312	是
	产出分享方式	0.217	0.217	0.997	0	0.056	0.327	是
	改进混合方式	0.108	0.182	0.997	0	0.115	0.230	是
1.2	固定支付方式	0.285	0.285	1.471	1.933	0.164	0.116	是
	产出分享方式	0.013	0.013	1.024	0	0.000 1	0.018	是
	改进混合方式	0	0.070	1.024	0	0.064	0.023	是
1.6	固定支付方式	0.230	0.230	1.471	2.203	0.143	-0.003	否
	产出分享方式	0	0	0	0	0	0	否
	改进混合方式	0	0.062	1.080	0	0.039	0.006	是

由研发成功概率函数 $P(x) = x/(\eta + x)$ 可以看出,在研发投入 x 给定的情况下, η 越大,研发成功概率越小,即研发技术风险越大。因此,由表 3 可知,技术风险较小时,产出分享方式下的研发投入高于企业所提供专用资产的价值,这时,企业就应采用产出分享方式,提高自身利润。

随着技术风险加大,产出分享方式下的研发投入变得很小,这时,企业就应考虑采用固定支付方式向研发方预支部分收益,并给予较高的买断费,以此激励研发方增加研发投入,提高企业利润。

当技术风险很大时,采用固定支付方式会因

过高的买断费而使企业利润为负,这时,企业就应选择改进混合方式,向研发方提供专用性资产,激励其进行研发投入,增加企业利润。

4 结束语

本文研究了研发存在技术风险且研发成功概率与研发投入相关,市场收益与市场投入相关的环境下,如何利用利益分配方式作为激励机制,防范产学研合作中的道德风险,促使研发方按契约规定投入研发资源。研究发现:(1)以专用资产替代现金作为预支收益可以提高研发方研发投入和

企业利润,实现了对混合方式的改进。(2) 市场收益较小时,企业可采用固定支付方式或改进混合方式;市场收益较大时,则应采用产出分享方式;市场收益足够大时则应采用固定支付方式,以提高自己的利润;(3) 在确定产出分享方式的分配

比例时,企业可适当提高研发方分配比例,以提高其研发投入量和双方利润,尤其在市场收益小,研发方不愿采用产出分享方式合作时,适当提高其分配比例,不但可以促成合作的形成,甚至可能使企业的利润高于另外两种分配方式。

参 考 文 献:

- [1] Howells J, Gagliardi D, Malik K. The growth and management of R&D outsourcing: Evidence from UK pharmaceuticals [J]. *R&D Management*, 2008, 38(2): 205–219.
- [2] Kultti K, Takalo T. Incomplete contracting in all R&D project: The Micronas case [J]. *R&D Management*, 2000, 30(1): 67–76.
- [3] 易余胤, 肖条军, 盛昭瀚. 合作研发中机会主义行为的演化博弈分析 [J]. *管理科学学报*, 2005, 8(4): 80–87.
Yi Yuyin, Xiao Tiaojun, Sheng Zhaohan. Evolutionary game analysis on opportunistic behavior in cooperative R&D market [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2005, 8(4): 80–87. (in Chinese)
- [4] 吴华清, 梁 樑, 古继宝. 基于关系契约的长期研发合作机制研究 [J]. *科学学研究*, 2007, 25(2): 141–146.
Wu Huaqing, Liang Liang, Gu Jibao. Research on the mechanism of long-term R&D cooperation based on relational contract [J]. *Studies in Science of Science*, 2007, 25(2): 141–146. (in Chinese)
- [5] Li D, Eden L, Hitt M A, et al. Friends, acquaintances, or strangers? Partner selection in R&D alliances [J]. *The Academy of Management Journal*, 2008, 51(2): 315–334.
- [6] 刘 学, 王兴猛, 江 岚, 等. 信任、关系、控制与研发联盟绩效: 基于中国制药产业的研究 [J]. *南开管理评论*, 2008, 11(3): 44–50.
Liu Xue, Wang Xingmeng, Jiang Lan, et al. Trust, relationship, control and the performance of R&D alliance: Research on China's pharmaceutical industry [J]. *Nankai Business Review*, 2008, 11(3): 44–50. (in Chinese)
- [7] Marceau J. Divining directions for development: A cooperative industry-government-public sector research approach to establishing R&D priorities [J]. *R&D Management*, 2002, 32(3): 209–221.
- [8] Bercovitz J E L, Feldman M P. Fishing upstream: Firm innovation strategy and university research alliances [J]. *Research Policy*, 2007, 36(7): 930–948.
- [9] Laffont J J, Martimort D. *The Theory of Incentives, the Principal-Agent Model* [M]. New Jersey: Princeton University Press, 2002.
- [10] 马亚男. 大学-企业基于知识共享的合作创新激励机制设计研究 [J]. *管理工程学报*, 2008, 22(4): 36–39.
Ma Yanan. The optimal incentive contract for university-industry cooperative innovation based on knowledge sharing [J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2008, 22(4): 36–39. (in Chinese)
- [11] 曹 兴, 石中华. 基于机制设计理论的企业技术委托开发道德风险防范研究 [J]. *系统工程*, 2005, 23(11): 85–90.
Cao Xing, Shi Zhonghua. On moral hazard prevention of commissioned technological development based on incentive mechanism design theory [J]. *Systems Engineering*, 2005, 23(11): 85–90. (in Chinese)
- [12] Crama P, Reyck B D, Degraeve Z. Milestone payments or royalties? Contract design for R&D licensing [J]. *Operations Research*, 2008, 56(6): 1539–1552.
- [13] 鲁若愚, 傅家骥, 王念星. 校企合作创新的属性演化及对分配方式的影响 [J]. *中国软科学*, 2003, (10): 153–160.
Lu Ruoyu, Fu Jiayi, Wang Nianxing. The evolution of the character of cooperative innovation between enterprises and university and its influence on the distribution way [J]. *China Soft Science*, 2003, (10): 153–160. (in Chinese)
- [14] 骆品亮, 周 勇. 虚拟研发组织利益分配的分成制与团队惩罚机制研究 [J]. *科研管理*, 2005, 26(5): 127–131.
Luo Pinliang, Zhou Yong. Sharecropping and group-fine scheme in virtual R&D team [J]. *Science Research Management*,

2005, 26(5): 127-131. (in Chinese)

[15] Lacetera N. Incentives and spillovers in R&D activities: An agency-theoretic analysis of industry-university relations [Z]. *Microeconomics from EconWPA*, 2003.

[16] 詹美求, 潘杰义. 校企合作创新利益分配问题的博弈分析[J]. *科研管理*, 2008, 29(1): 8-13 28.

Zhan Meiqiu, Pan Jieyi. Research on the profit distribution game of cooperative innovation between universities and enterprises [J]. *Science Research Management*, 2008, 29(1): 8-13 28. (in Chinese)

The optimal profit sharing arrangement in industry-university-institution cooperation based on double-sided incentive

HUANG Bo, MENG Wei-dong, LI Yu-yu

School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China

Abstract: Under the assumption that there is technique uncertainty in R&D, and the success probability of R&D and market return is related to individual resource committed to them, we study how to use profit sharing arrangement to reduce moral hazard in cooperation of industry-university-institution and stimulate the university or institution to commit R&D resource according to contract. Based on the comparative analysis of the incentive efficiency between fixed sharing arrangement, proportional sharing arrangement, mixed sharing arrangement, and improved mixed sharing arrangement, the optimal profit sharing arrangement for different condition is found out. Finally, a numerical example and a case study are given to illuminate the main conclusion of this paper.

Key words: cooperation of industry-university-institution; profit sharing arrangement; double-sided incentive

附录

命题 1 证明过程

证明 由式(9)和(13)可知 $y_2^* = y_3^*$, 则 $P_R M(y_2^*) > P_R M(y_3^*) - A$, 由 $P''(x) < 0$ 可得 $x_2^* > x_3^*$, 即混合方式下的研发投入低于产出分享方式. 将式(11)和(7)相减可得两种方式下的企业利润之差为 $\Delta\pi_E = -[P(x_2^*) - P(x_3^*)][P_E M(y_2^*) - y_2^*] - [1 - P(x_3^*)]A < 0$, 即混合方式降低了企业期望利润. 由此可知, 与产出分享方式相比, 混合方式反而降低了研发投入, 企业期望利润以及双方合作可能性. 因此, 混合方式对双方的激励效率都低于产出分享方式. 命题 1 证毕.

命题 2 证明过程

证明 由式(13)和(17)可知 $y_3^* = y_4^*$, 则由式(18)和(19)与(14)对比可得 $x_4^* \leq x_3^*$ 但 $x_4^* + A \geq x_3^*$, 即改进混合方式提高了研发方研发实际投入. 将式(15)和(16)分别与式(11)和(12)相减可得两种分配方式下的企业及研发方的利润之差分别为 $\Delta\pi_E = [P(x_4^* + A) - P(x_3^*)][P_E M(y_3^*) + A - y_3^*] > 0$ 和 $\Delta\pi_R = [P(x_4^* + A) - P(x_3^*)][P_R M(y_3^*) - A] + (x_3^* - x_4^*) > 0$, 即改进混合方式提高了双方利润. 由此可知, 与混合方式相比, 改进混

合方式提高了研发实际投入, 双方的期望利润和双方合作的可能性. 因此, 改进混合方式对双方的激励效率都更高, 实现了对混合方式的改进. 命题 2 证毕.

命题 3 证明过程

证明 当 $\text{Max} [(1 - \alpha) B^* P_R M(y_2^*)] < \frac{1}{P'(A)}$ 时, 由式(5)式(10)以及 $P''(x) < 0$ 可知 $\text{Max} [x_1^*, x_2^*] < A$, 即固定支付和产出分享方式下的研发投入均小于 A, 而由 2.4 中的分析可知改进混合方式下研发实际投入至少为 A, 因此, 当 $\text{Max} [(1 - \alpha) B^* P_R M(y_2^*)] < \frac{1}{P'(A)}$ 时, 改进混合方式最能有效激励研发方进行研发投入. 当 $P_R M(y_2^*) > \frac{1}{P'(A)}$ 时, 由式(10)和 $P''(x) < 0$ 可知 $x_2^* > A$, 由式(9)和(17)可知 $y_2^* = y_4^*$, 则对比式(10)和(19)可得 $x_2^* > x_4^* + A$, 因此, 产出分享方式比改进混合方式更能有效激励研发方进行研发投入; 此时, 若 $(1 - \alpha) B^* > P_R M(y_2^*)$ 则 $x_2^* > x_3^*$, 即固定支付方式最能有效激励研发方进行研发投入. 若 $(1 - \alpha) B^* < P_R M(y_2^*)$ 则 $x_3^* > x_2^*$, 即产出分享方式最能有效激励研发方进行研发投入.

由 $P_E < 1$ 和 $P''(x) < 0$ 可知 $y_1^* > y_3^* = y_4^*$ 因此 固定支付方式最能有效激励企业进行市场投入。

产出分享方式下双方总利润为 $\Pi_S = P(x_2^*) [M(y_2^*) - y_2^*] - x_2^*$ 改进混合方式下双方总利润为 $\Pi_I = P(x_4^* + A) [M(y_4^*) - y_4^*] - x_4^* - A$ 。求解可得 $y^* = y_2^* = y_4^*$ 双方总利润最大化的研发投入 $x^* = P^{-1} \left[\frac{1}{M(y^*) - y^*} \right]$ 。由此可得 当 $P_R M(y_2^*) < \frac{1}{P(A)}$ 时 $x_2^* < A < x^*$ 因此 $\Pi_S < \Pi_I$ ，即改进混合方式对双方的激励效率比产出分享方式更好；当 $P_R M(y_2^*) > \frac{1}{P(A)}$ 时 $A < x_2^* < x^*$ 因此 $\Pi_S > \Pi_I$ 即产出分享方式对双方的激励效率比改进混合方式更好。命题 3 证毕。

命题 4 证明过程

证明 市场收益 $M[M^{-1}(1)] < \frac{\alpha B^*}{P(x_1^*)} + (1 - \alpha) B^* + M^{-1}(1)$ 时 固定支付方式下的企业期望利润为负 因此双方不能采用固定支付方式进行合作；当市场收益 $M(y_2^*) < \text{Max} \left[\frac{x_2^*}{P_R P(x_2^*)} \frac{y_2^*}{P_E} \right]$ 时 产出分享方式下的企业或研发方的期望利润为负 因此双方不能采用产出分享方式进行合作；而当市场收益 $M(y_4^*) < \frac{y_4^*}{P_E} + A \times \frac{1 - P[x_4(y_4^*) + A]}{P_E P[x_4(y_4^*) + A]}$ 时 改进混合方式下的企业期望利润为负 因此双方不能采用改进混合方式进行合作。由此可得 当条件 1 满足时双方无法合作。

当市场收益满足 $\frac{y_2^*}{P_E} \leq M(y_2^*) < \frac{x_2^*}{P_R P(x_2^*)}$ 时 产出分享方式

下企业利润非负 但研发方利润为负 因此企业可以考虑通过预支部分收益来分担研发风险促进合作。这时 若 $M(y_4^*) \geq \frac{y_4^*}{P_E} + A \frac{1 - P[x_4(y_4^*) + A]}{P_E P[x_4(y_4^*) + A]}$ 改进混合方式下双方利润均为非

负 若 $(1 - \alpha) B^* < \text{Max} \left[\frac{x_1^*}{P(x_1^*)} \frac{1}{P(0)} \right]$ 固定支付方式下的研发投入为 0 因此 当条件 2 和 3 均满足时 改进混合方式下的企业期望利润最大 即改进混合方式对企业激励效率最高，

企业应选择改进混合方式。

当买断费 $B^* \geq \frac{\text{Max} [x_1^* / P(x_1^*) \ 1 / P(0)]}{1 - \alpha}$ 时 固定支付方式

下研发方愿意进行研发投入，此时，若 $B^* < \frac{P(x_4^* + A) [P_E M(y_4^*) - y_4^*] - P(x_1^*) [M(y_1^*) - y_1^*] - A}{(1 - \alpha) P(x_1^*) + 1}$ ，

则固定支付方式下企业期望利润最大 因此 当条件 2 和 4 均满足时 固定支付方式对企业的激励效率最高 企业应选择固定支付方式。

若买断费 $B^* > \{P(x_4^* + A) [P_E M(y_4^*) - y_4^*] - P(x_1^*) [M(y_1^*) - y_1^*] - A\} / [(1 - \alpha) P(x_1^*) + 1]$ 意味着改进混合方式下企业期望利润最大 因此 当条件 2 和 5 均满足时 改进混合方式对企业的激励效率最高 企业应选择改进混合方式。

当市场收益 $M(y_2^*) > \text{Max} \left[\frac{1}{P_R P(A)} \frac{A}{P_R P(A)} \right]$ 时 产出

分享方式下的双方利润均为非负且研发投入大于 A 由命题 3 可知 $x_2^* > x_4^* + A$ 则对比式 (7) 和 (15) 可知产出分享方式下企业期望利润更大 因此 企业将不会选择改进混合方式。

此时，若买断费 $B^* > \{P(x_1^*) [M(y_1^*) - y_1^*] - P(x_2^*) [P_E M(y_2^*) - y_2^*]\} / [P(x_1^*) (1 - \alpha) + \alpha]$ ，则对比式 (1) 和 (7) 可知产出分享方式下企业期望利润最大 因此 当条件 6 满足时 产出分享方式对企业的激励效率最高 企业应选择产出分享方式。

此时，若买断费 $B^* < \{P(x_1^*) [M(y_1^*) - y_1^*] - P(x_2^*) [P_E M(y_2^*) - y_2^*]\} / [P(x_1^*) (1 - \alpha) + \alpha]$ 则固定支付方式下企业期望利润最大 因此 当条件 7 满足时 固定支付方式对企业的激励效率最高 企业应选择固定支付方式。

当 $\frac{x_2^*}{P(x_2^*) M(y_2^*)} < P_R < 1 - \frac{y_2^*}{M(y_2^*)}$ 时 产出分享方式下合作

双方的期望利润均为非负 双方愿意合作。此时 若 $P_R < 1 - Q_1$ 则产出分享方式下企业期望利润大于固定支付方式；若 $P_R < 1 - Q_2$ 则产出分享方式下企业期望利润大于改进混合。因此 条件 8 满足时 产出分享方式下能有效激励合作双方，且对企业的激励效率最高 企业将选择产出分享方式。命题 4 证毕。