

# 基于合作博弈模型的大型客机研制中 产学研合作模式的研究\*

## Study on Production-Education-Research Cooperation Mode in Research and Development of Large Aircraft Based on Cooperative Game Model

西北工业大学管理学院 李涛 叶金福 黄依

**[摘要]** 从经济学角度出发运用完全信息动态博弈模型对大型客机研制过程中产学研合作模式进行了研究。通过研究,总结出了一些影响合作模式的选择依据。通过对选择依据的把控能够帮助我们选择正确的合作模式,从而提升大型客机产学研合作的效果,更好的服务于大飞机项目的展开。

**关键词:** 产学研合作 博弈论 技术交易 全过程协作

**[ABSTRACT]** The production-education-research cooperative innovation mode in the research and development of large aircraft is studied from an economic point of view by using the complete information dynamic game model. Through research, some choices of basis that affect the partnership model is concluded. Through selection basis of the control, It can help us choose the right model of cooperation so as to enhance the effect of large passenger aircraft production and research cooperation, and service excellently at the commencement of large aircraft project.

**Keywords:** Production-education-research cooperation Game theory Technology exchange Whole process of collaboration

产学研合作是大型飞机研发制造的重要合作形式之一。通过产学研合作,企业可以在发挥自身研发设计和制造优势的同时,充分利用高校、科研机构的研究和人才资源优势。大飞机项目是一个复杂的技术系统。一般将大飞机的生命周期划分为3个主要的阶段:飞机研发设计阶段、飞机工程制造阶段、飞机商业化运营阶段。在大飞机研制的不同阶段,对合作各方的资源和能力需求不同,资源和能力比较优势也分属于不同的合作主体。在大飞机研发设计阶段,产学研合作以技术难题攻关为导向,研发能力、试验设备、仪器技术属性及创新

性等是重要的资源;在大飞机的工程制造阶段,产学研合作以技术工程化为导向,研制协同能力、工艺制造水平、生产能力等是重要的资源;在大飞机的商业运营阶段,产学研合作以产品商业化为主导,商业运营能力、市场研究及开发能力、客户服务能力等是重要的资源。在大飞机整个生命周期中,高校、科研机构参与深度的不同对应着不同的合作模式。正确的合作模式对于提高大飞机研制中产学研合作的效果具有重大的意义。因此,对于大型客机研制中产学研合作模式的研究至关重要。目前,围绕大飞机产学研进行系统性研究的文献并不多见,仅在某一具体领域,如大飞机技术创新<sup>[1]</sup>、战略发展<sup>[2]</sup>、人才培养、基地建设等提及到产学研合作的具体方式和重要性。但对方式的选择依据进行研究的比较少,本文从经济学角度出发运用完全信息动态博弈模型对在大型客机研制过程中产学研合作模式进行了研究。通过研究,总结出了一些影响合作模式的选择依据。

### 1 产学研理论介绍

#### 1.1 产学研国内外研究现状

产学研合作创新模式是各国科技创新的重要研究内容之一。国外学者围绕产学研合作创新进行了众多的实证研究<sup>[3]</sup>,研究结果表明:产学研合作创新的模式多种多样,既有高校、科研机构利用自己的科研成果创办企业的,也有通过技术转让实现科技成果转化的。既有正式合作,也有非正式合作;既有长期合作,也有短期合作。Wright等人<sup>[4]</sup>研究认为,技术发明阶段更应采取企业与高校、科研机构联合开发等合作模式,在技术适应市场阶段更应采取委托开发等合作模式,而在技术扩散阶段更应采取高校和科研机构为企业提供咨询服务等合作模式。D'Este等人<sup>[5]</sup>通过实证研究发现,产学研合作模式选择更多地受到研发人员个人特点的影响,较少受大学和学院特点的影响。

我国学者也对产学研合作创新模式的分类特征及选择依据等进行了大量的研究。有的学者按结合的紧

\* 中国商飞公司管理创新模式研究课题 (NAEK0001) 资助。

密程度,将产学研合作创新模式分为技术转让、合作开发、共建实体 3 种模式<sup>[6]</sup>。有的按其功能,将产学研合作创新模式分为人才培养型合作模式、研究开发型合作模式、生产经营型合作模式<sup>[7]</sup>。有的按结合的动力,将产学研合作创新模式分为政府推动型和自愿结合型 2 种合作模式<sup>[8]</sup>。

学者研究的维度不同、出发点不同,分类标准就不同且对应的模式亦不同<sup>[9]</sup>。综合各种分类模式,从参与深度出发,可以将产学研合作模式分为:技术交易和全过程协作。技术交易是指企业向大学、科研机构购买技术成果,并通过自己的开发能力和对市场的把握将其商业化。全过程协作是指大学、科研机构投入其技术成果,企业投入资源和市场能力,双方共同开发,将产品推向市场。

## 1.2 产学研与博弈论的关系

无论是技术交易还是全过程协作,都涉及到利益分配问题。产学研合作得以实现的前提是在实现集体利益的基础上满足每个合作主体的利益最大化<sup>[10]</sup>。产学研合作本质上是一个合作博弈问题<sup>[11]</sup>,可运用博弈论的基本理论和方法来分析产学研合作问题。博弈理论(Game Theory)在经济与管理领域都有极其重要的运用,而对于合作体的收益分配问题,也是合作方之间的相互博弈结果,其分配必须要根据公平、合理原则<sup>[12]</sup>。博弈论中合作博弈是解决利益分配的有效途径,合作博弈理论强调合作存在的前提是集中合作的各方能给合作联盟带来更多的利益,也即整体收益大于部分收益之和。两方参与博弈,在对方给定策略的条件下,另一方会选择自己的最优策略,从而使自己利益最大化。在具体博弈过程中,每一个博弈方对对手的策略空间和得益函数有准确的了解,其符合完全信息动态博弈。许多学者都应用合作博弈理论解决了众多实际问题。例如,刘浪应用合作博弈理论,分析了动态联盟伙伴企业利益的分配问题<sup>[13]</sup>。罗利运用合作博弈理论分析了产学研合作的收益分配问题,最后得出企业与高校、科研机构的收益分配比例<sup>[14]</sup>。

## 2 大型客机研制中产学研合作博弈模型

按照上述的分类标准,大型客机研制中产学研合作创新技术交易模式是指:高校、科研机构仅参与大飞机研制生命周期的第一阶段,即大飞机的研发设计阶段。此阶段,企业根据大飞机研制实际需求,向高校、科研机构提出科研项目,委托其代为研发,最后由企业支付技术转让费后实现科研成果由学、研流向企业。而生命周期的工程制造阶段和商业运营阶段由企业独立完成。

按照上述的分类标准,大型客机研制中产学研合作

创新全过程协作模式是指:在大飞机设计研发阶段,企业提供充足的科研经费,并与高校、科研机构协同工作,共同克服技术攻关中的各种难题。在大飞机的工程制造阶段,企业的生产设备、生产能力、工艺水平等对大飞机的制造起着决定性的作用。此阶段,新技术在工程化中能否实现某个具体功能并与其他技术模块对接至关重要。高校、科研机构的重要任务就是解决在技术工程化中遇到的各种问题。在大飞机的商业运营阶段,企业以市场为导向充分发挥市场运作能力,而高校、科研机构则提供一些商业咨询和有价值的市场研究信息。

### 2.1 基本假设与问题定义

假设大型客机某一功能通过某一零组件来实现,而此功能需要某一关键技术来支撑实现。

为了简化模型,根据实际情况做出如下假设:

(1)此技术的研发成本为  $C$ ,包括人、财、物、信息等资源的成本投入。为了简化模型,无论对于高校、科研机构还是企业,假设此项技术的研发成本是相同的。

(2)此技术在商业化价值实现后分配到的利润为  $R$ 。

(3)研发创新成功的能力用概率来表示,概率值越大表明研发并成功商业化的能力越强。

(4)企业是产学研合作创新的倡导者,所有的合作以市场为导向。

(5)在产学研合作创新中,不存在道德违约信用风险。

### 2.2 技术获取方式及对应的收益

对于此关键技术的获取,企业可以有以下几种选择方式:企业投入资源进行独立研发;企业通过技术交易取得关键技术,并在此技术基础上进行后续开发和商业化运作;全过程协作,高校、科研机构参与研发、工程制造和商业化运作全过程中。第一种方式属于独立创新战略,后两种属于合作创新战略。假定企业独立创新成功的概率为  $P_1$  ( $0 < P_1 < 1$ ),  $P_1$  值越大,表明企业独立创新能力很强。当企业获得关键技术后,在此基础上,其研发创新取得成功的概率为  $P_2$  ( $0 < P_2 < 1$ ),因为企业在高校、科研机构的成果基础上进行后续开发,所以其研发创新取得成功的可能性比独立创新时要大,即  $P_1 < P_2$ 。

(1)企业选择独立创新战略。

企业选择独立创新战略时,其期望利润为:  $ER_1 = R \times P_1$ ,高校、科研机构的期望利润为 0。

(2)企业选择技术交易合作创新战略。

企业通过技术交易来获取关键技术,企业可以给高校、科研机构支付一定的费用,双方商定一个成交价格  $P$ ,企业支付  $P$  后,获得关键技术的使用权。在此技术上,

企业进行后续的开发与商业化运作。

如果双方因价格  $P$  不能达成合作共识,技术交易合作失败。此时回归到企业独立创新状况。

如果双方达成技术交易合作共识,企业的创新能力大幅提高,企业进行后续开发和商业化运作并独自享有商业化的利润。

$$\text{企业的期望利润为: } ER_2 = R \times P_2 - P; \quad (1)$$

高校、科研机构的利润为:  $P$ 。

(3) 企业选择全过程协作合作创新战略。

高校、科研机构和企业产学研合作创新机制中形成命运共同体,高校、科研机构参与到某一零组件支撑技术的研发、工程制造、商业化运作的整个过程。高校、科研机构投入技术研发成果,企业投资市场资源和能力。双方进行合理的分工与协作,将产成品成功推向市场。此时高校、科研机构并不需要向企业出售技术,但按照合作契约享有商业化成功后利润的分享。高校、科研机构和企业研发能力是相互独立的,假定高校、科研机构独立研发并成功商业化的概率为  $P_3$  ( $0 < P_3 < 1$ ),合作创新并成功商业化的概率为  $P_u$  ( $0 < P_u < 1$ )。

根据相互独立事件至少有一个发生的概率公式可得:

$$P_u = P_2 + P_3 - P_2 \times P_3. \quad (2)$$

可以看出:  $P_u > P_1$ ,  $P_u > P_3$ ,这也证明了产学研合作后创新能力得到了提升。

假定企业分享的利润比例为  $r$  ( $0 < r < 1$ ),则高校分享的利润比例为:  $1-r$ ;

$$\text{企业的期望利润为: } ER_3 = R \times P_u \times r; \quad (3)$$

高校、科研机构的期望利润为:

$$ER_4 = R \times P_u \times (1-r) - C. \quad (4)$$

表1为产学研合作利益主体的期望利润表。

表1 产学研合作利益主体的期望利润表

合作意向	企业采用技术交易	企业采用全过程协作
高校、科研机构同意	$(R \times P_2 - P, P)$	$(R \times P_u \times r, R \times P_u \times (1-r) - C)$
高校、科研机构拒绝	$(R \times P_1, 0)$	$(R \times P_1, 0)$

### 2.3 合作博弈模型的建立

(1) 企业与高校、科研机构采取技术交易合作创新模式:高校、科研机构与企业进行技术交易时,双方就交易价格进行谈判,双方进行讨价还价都力求实现自身利益最大化。双方进行轮回讨价还价后最终会产生满足双方利益最大化的均衡解。

企业提出技术交易时,高校、科研机构若选择拒绝,则高校、科研机构获得的利益为0。对于企业来说,尽管

采取技术交易策略可使自己研发创新的能力大幅提高,但企业要支付交易成本。高校、科研机构与企业进行技术交易时,遵循市场机制对交易价格进行协商讨论。

可以采用纳什均衡解来求出最终的交易价格:基于上述分析,我们构建一个满足双方利益最大化的完全信息动态博弈模型:

$$L = \max\{[(R \times P_2 - P) - R \times P_1] \times P\}. \quad (5)$$

(2) 高校、科研机构与企业采取全过程协作合作创新模式:高校、科研机构与企业采取全过程协作时,双方就商业化成功后的利润分配比例进行谈判,双方进行讨价还价都力求实现自身利益最大化。双方进行轮回讨价还价后最终会产生满足双方利益最大化的均衡解。高校、科研机构与企业进行商业化协作时,在组织内部,通过合约形式对利润分享比例进行协商讨论。

同理满足双方利益最大化可以构建一个完全信息动态博弈模型:

$$L = \max\{[(R \times P_u \times r - R \times P_1) \times [R \times P_u \times (1-r) - C]]\}. \quad (6)$$

### 2.4 合作博弈模型中相关系数的确定

(1) 企业与高校、科研机构采取技术交易合作创新模式。

当满足  $\frac{\partial L}{\partial P} = 0$  时,可使目标函数  $L$  取得最大值,解得:

$$P = \frac{R \times (P_2 - P_1)}{2}.$$

此时企业获得的利润为:  $\frac{R \times (P_2 + P_1)}{2}$ , 因为  $P_2 >$

$P_1$ , 所以  $(P_2 + P_1) > 2P_1$ 。

故  $\frac{R \times (P_2 + P_1)}{2} > \frac{R \times 2P_1}{2} = R \times P_1$  (企业独立创新

时的获利)。即可证明企业联合高校、科研机构后获得的利益比独立创新时大。

(2) 企业与高校、科研机构采取全过程协作合作创新模式。

当满足  $\frac{\partial L}{\partial r} = 0$  时,可使目标函数  $L$  取得最大值,解得:

$$r = \frac{1}{2} \times \frac{R \times (P_u + P_1) - C}{R \times P_u}, \quad (7)$$

此时企业获得的利润为:  $\frac{R \times (P_u + P_1) - C}{2}$ , (8)

高校、科研机构获得的利润为:  $\frac{R \times (P_u - P_1) - C}{2}$ 。(9)

表2为采用纳什均衡解得到的合作利益主体的期望利润。

表2 采用纳什均衡解得到的合作利益主体的期望利润

合作意向	企业采用技术交易	企业采用全过程协作
高校、科研机构同意	$\left[ \frac{R \times (P_2 + P_1)}{2}, \frac{R \times (P_2 - P_1)}{2} \right]$	$\left[ \frac{R \times (P_u + P_1) - C}{2}, \frac{R \times (P_u - P_1) - C}{2} \right]$
高校、科研机构拒绝	$(R \times P_1, 0)$	$(R \times P_1, 0)$

### 3 大型客机研制中产学研合作模式选择

当满足  $\frac{R \times (P_u + P_1) - C}{2} > \frac{R \times (P_2 + P_1)}{2}$  , 且

$\frac{R \times (P_u - P_1) - C}{2} > \frac{R \times (P_2 - P_1)}{2}$  , 即全过程协作比

技术交易双方获利均大时, 解得:

$$R \times (P_u - P_2) - C > 0。$$

即:  $P_u - P_2 = P_3 \times (1 - P_2) > \frac{C}{R}$  是上述 2 个不等式同时成立的充要条件。所以可以得出以下结论:

- 当  $P_3 \times (1 - P_2) > \frac{C}{R}$  成立时, 基于利益最大化, 企业选择全过程协作;

- 当  $P_3 \times (1 - P_2) < \frac{C}{R}$  成立时, 基于利益最大化, 企业选择技术交易。

合作机制的选择依赖于  $P_3 \times (1 - P_2) > \frac{C}{R}$  成立与否, 合作方式是函数, 双方各自的研发创新能力  $P$ 、技术成果商业化后的利润  $R$ 、技术研发的投资成本  $C$  是自变量。

#### 3.1 技术研发成本对合作模式的影响

从不等式的成立条件, 我们可以看到:  $C$  越大, 即技术研发投入成本越大、技术越先进、工艺流程越复杂, 在其他变量不变情况下,  $P_3 \times (1 - P_2) < \frac{C}{R}$  越容易成立。

$$\text{又因为 } r = \frac{1}{2} \times \frac{R \times (P_u + P_1) - C}{R \times P_u},$$

则  $\frac{\partial r}{\partial C} = -\frac{1}{2} \frac{R \times (P_u + P_1)}{R \times P_u} < 0$ , 即  $C$  越大企业利润分配比例  $r$  越小, 即: 技术越先进、工艺流程越复杂, 技术

研发创新投入成本越大时, 基于利益最大化, 企业应倾向于技术交易合作创新模式。

在实际的大型客机研制过程中, 可依据技术的复杂程度经济的选择相应的合作模式。在大型客机构成中, 某些零组件的性能严重影响飞机的总体性能, 其性能指标往往要求很高, 并且技术先进、成本投入巨大。在此种情况下, 企业应选择技术交易合作模式。而影响大型客机经济性能的一些零组件, 其技术难度一般不大。企业可以考虑选择全过程协作合作模式。对于一些面向市场比较成熟的共性技术, 其研发成本往往较低, 可以选择全过程协作合作模式。而对于一些攻关创新技术, 其研发成本往往较高, 可以选择技术交易合作模式。例如, 在大飞机构成中, 发动机是飞机的核心, 其技术性能指标要求高, 发动机制造企业应该选择技术交易合作模式。而诸如客舱门、货舱门等非核心零部件, 其涉及到的技术创新难度一般不大, 相关制造企业应该选择全过程协作合作模式。

#### 3.2 高校、科研机构研发创新能力对合作模式的影响

当其他变量不变时,  $P_3$  越大, 即高校、科研机构的研发创新能力越强。不等式  $P_3 \times (1 - P_2) > \frac{C}{R}$  越容易成立。

此时选择全过程协作对双方都是有利的。即在大型客机研制中, 对于某一具体技术, 高校、科研机构研发创新能力越强, 基于利益最大化, 企业应倾向于全过程协作合作创新模式。

#### 3.3 合作对象的选择影响因素

当选择技术交易时: 企业的期望利润为  $ER_2 = R \times P_2 - P = \frac{R \times (P_2 + P_1)}{2}$ ,  $\frac{\partial ER_2}{\partial P_3} = 0$ , 即在大型客机研制中, 当采取技术交易时, 高校、科研机构独立研发能力对企业来说不是一个影响因素。

当选择全过程协作时, 企业的期望利润为:

$$ER_3 = R \times P_u \times r = \frac{R \times (P_u + P_1) - C}{2} = \frac{R \times [P_2 + P_3(1 - P_2)] - C}{2}。 \quad (10)$$

而  $\frac{\partial ER_3}{\partial P_3} > 0$ , 故  $P_3$  越大, 企业独立研发能力越强,  $P_3 \times (1 - P_2) > \frac{C}{R}$  越满足成立条件, 企业获得的利润越大。

因此, 采用全过程协作合作模式时, 独立研发能力是企业选择评估高校、科研机构合作伙伴的重要考量条件。即在大型客机研制中, 当采用全过程协作模式时, 相关零组件的制造企业应根据实际情况, 在众多高校、科研

机构中去选择研发能力卓越的组织作为自己的合作伙伴。

#### 4 结束语

产学研合作既是企业赢得竞争优势的重要途径,也是高校、科研机构知识资源实现价值的途径。本文通过运用完全信息动态博弈模型,对大型客机的研制过程中产学研合作创新的模式进行了新研究。并得出结论:在大型客机的研制过程中,针对某一零组件关键技术的获取,技术研发成本、高校及科研机构的研发能力是企业选择合作模式及合作伙伴的影响因素。当技术研发投入成本巨大时,企业应倾向于技术交易合作模式;当选定全过程协作合作模式时,企业应倾向于选择研发能力出色的高校、科研机构作为合作者。以后还将对算法中的参数进行实证研究,以期更好把控选择依据进而提升大飞机产学研的合作绩效。

#### 参考文献

[1] 陈傲,张志宏. 中国大型客机研制的技术集成路径研究. 中国科技论坛,2008(12):79-82

[2] 黄强,杨乃定,董铁牛,等. 欧洲民用航空产业发展战略分析及给我们的启示. 航空制造技术,2008(1):60-63.

[3] Cohen W M. Nelson R R, Walsh J P. Links and impacts the influence of public research on industrial R& D. Management science, 2002(1): 1-23.

[4] Wright M, Clarysse B, Lockett A, et al. Mid-range universities' linkages with industry knowledge types and the role of intermediaries. Research policy, 2008( 8): 1205-1223.

[5] Este D P, Patel P. University- industry linkages in the UK: what are the factors underlying the variety of interactions with industry? Research Policy, 2007(9): 1295-1313.

[6] 田华杰,孙静,王换娥. 产学研合作模式的效果与问题思考. 生产力研究,2011(1): 93-94.

[7] 仲伟俊,梅姝娥,谢园园. 产学研合作技术创新模式分析. 中国软科学,2009(8): 174-181.

[8] 王文岩,孙福全,申强. 产学研合作模式的分类、特征及选择. 中国科技论坛,2008(5): 37-40

[9] 王娟茹,潘杰义. 产学研合作模式探讨. 科学管理研究, 2002(1): 25-27.

[10] 鲍新中,徐丹,王道平. 产学研合作收益分配的博弈分析. 数学的实践与认识, 2009,39(19): 76-83.

[11] 杨久香,罗东坤. 产学研合作的思想基础和演变趋势研究. 科技管理研究, 2010(24):104-106.

[12] 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. 中国软科学, 2003(10):153-160.

[13] 刘浪,唐海军,陈仲君. Shapley 值在动态联盟利益分配博弈分析中的应用. 工业工程, 2006(9):118-121.

[14] 罗利,鲁若愚. 产学研合作对策模型研究. 管理工程学报, 2000(2):1-4.

(责编 亦菲)

(上接第 61 页)

程中实现了自体辉光放电。并对最佳放电参数进行了研究,结果表明在感应线圈直径 82mm,匝数 3 匝的情况下,最佳放电距离为 100cm,最佳电子束束流为 180mA。对轴向方向上的离子密度的研究结果表明,采用本方法可以产生离子密度高于  $1.0 \times 10^{10}$  atom/cm<sup>3</sup> 的等离子体。同时中间位置处的离子密度高于边缘位置的离子密度,且射频功率越大,两者之间的差距也越大。

#### 参考文献

[1] Shamala K S, Murthy L C S. Studies on optical and dielectric properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films prepared by electron beam evaporation and spray paralysis method. Materials Science and Engineering,2004,106(5) : 269-274.

[2] 田民波. 薄膜技术与薄膜材料. 北京: 清华大学出版社, 2006:442-443.

[3] Milton O. Materials Science of Thin Films. 北京: 世界图书出版公司,2006:121-123.

[4] 武颖娜,王冰,华伟刚,等. 热障涂层的研究和发展. 材料导报. 2002, 16 (8): 8-10.

[5] 戴达煌,周克崧,袁镇海,等. 现代材料表面技术科学. 北京: 冶金工业出版社,2004:404-405.

[6] Sergei V F. Microstructure features of wear-resistant titanium nitride coatings deposited by different methods. Thin Solid Films,2000,57(3): 377-378.

[7] Lyutovich A, Maile K, Gusko A. Characterization of the generation of ions in electron beam evaporator for the control of metal deposition processes. Surface and Coatings Technology, 2002,12(7) :151-152.

[8] 孙屹群,汤彦骐. 冷阴极离子源辅助镀膜技术及应用. 激光技术, 1997, 21(5):54-62.

[9] Hsu S, Yang T S, Chen T K. Ion-assisted electron-beam evaporation of carbon-doped titanium oxide films as visible-light photo catalyst. Thin Solid Films,2007,515(23):3521-3526.

[10] Jun Z, Zhe W, Zhanhe L. Influence and determinative factors of ion-to-atom arrival ratio in unbalanced magnetron sputtering systems. Journal of University of Science and Technology,2008,15(34):775-781.

[11] Ronghua W, Tom B, Chris R. Metal plasma immersion ion implantation and deposition using a metal plasma electron evaporation source. Surface Coating Technology,2005,200(32):579-583.

[12] Modes T, Scheffel B, Metzner. Structure and properties of titanium oxide layers deposited by reactive plasma activated electron beam evaporation. Surface Coating Technology,2005,200(32):306-309.

[13] Colpo P, Ernst. Determination of the equivalent circuit of inductively coupled plasma sources. Journal of Applied Physics,1999,85(4): 1366-1371.

[14] Sehwabedissen A, Roberts J R. Comparison of electron density measurements in planar inductively coupled plasmas by means of the plasma oscillation method and langmuir probes. Plasma Sources Science and Technology,1998,7(23):119-129.

[15] Keller J H. Inductive plasmas for plasma processing. Plasma Sources Science and Technology,1996,5(2):166-172. (责编 深蓝)