

基于增值利润共享的复杂装备研制激励机制

雷源浩

江南大学商学院, 江苏 无锡

收稿日期: 2024年2月20日; 录用日期: 2024年3月11日; 发布日期: 2024年4月22日

摘要

能否调动复杂装备协同研制主体的积极性与能动性, 设计恰当的激励机制, 诱导其投入更多的努力程度, 是复杂装备协同研制管理迫切需要解决的问题。鉴于此, 考虑到努力程度是复杂装备协同研制的重要参数, 基于博弈分析技术, 本文构建了利润分配模型, 并利用其分析主制造商与供应商非合作和合作情形下复杂装备协同研制主体最优决策, 进而从增值利润共享角度, 设计激励机制。结果表明, 所设计的机制能够调动供应商积极性, 实现研制主体和研制系统利润增加与长期稳定合作。

关键词

协同研制, 激励机制, 努力程度, 增值利润

A Novel Incentive Mechanism for Complex Equipment Based on Add-Profit Share

Yuanhao Lei

School of Business, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu

Received: Feb. 20th, 2024; accepted: Mar. 11th, 2024; published: Apr. 22nd, 2024

Abstract

Mobilizing the enthusiasm and initiative of the collaborative development main body of complex equipment, and designing the appropriate incentive mechanism to induce them to input more effort degree has become an urgent problem to be solved. In view of this, considering that the effort degree is an important parameter in the collaborative development of complex equipment, based on game analysis technology, we establish a profit distribution model, and exploit to solve the optimal decision and profits of the main body of under non cooperation and cooperation between the main manufacturer and the suppliers, and then design the incentive mechanism of the main manufacturer and supplier based on value-added profit sharing. The results show that the de-

signed mechanism can mobilize the enthusiasm of suppliers, and realize the increasing of the profit of each body and development system and long-term stable cooperation.

Keywords

Collaborative Development, Incentive Mechanism, Effort Degree, Value-Added Profit

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

复杂装备的研制是一个多元化和全面性的系统工程任务。在复杂装备协同研制框架下，主制造商占据核心地位，供应商则处于从属地位，主制造商在信息获取和地位等方面具有明显优势，从而使他们得以在一定程度上控制和调节供应商的活动[1][2]。复杂装备协同研制能否成功受到各研制主体影响和制约，而供应商所付出的努力程度不仅是整个过程中的关键参数，还对提升协同研制的质量和效率具有重要促进作用[3]，在确保制造商、供应商和供应链利益不受损害的前提下，如何进行协调及激励，提高供应商的积极性，促使他们投入更多的努力程度，实现主制造商与供应商之间形成协同研制，是主制造商迫切需要解决的难题[4]。

目前对供应商激励的相关研究主要集中在构建利益分配机制、成本分担机制、激励机制与策略等方面。有关利润分配机制的研究主要探究如何构建使整个供应链利益最优化的利润分配机制，以及对不同利益分配方法的探讨。在构建利润分配机制方面，David, John 的研究发现竞争市场的严峻程度能推动企业间优化合约，进一步提高合作收益[5]；郭敏，王红卫从供应链利润分配的视角，利用博弈论和激励理论构建了支持供应链协调的三层结构模型，分配供应链利益，在一定程度上实现了供应链合作总收益最大化[6]；赵晓丽和乞建勋[7]对不同合作形式对合作利益分配的影响进行了研究，并采用博弈模型设计出了一种基于合作贡献以及风险补偿的利益分配原则；Gerard 和 Martin 采用供应链各方经济收入来设计利益分配模型，应对利益分配过程中的边际效应递减问题[8]；杨继君和许维胜等学者利用改进的核心法并参考了供应链的特性，采用博弈理论的理念和方法研究了供应链利益分配的适用性和稳定性[9]；Iman, Ali 和 Nookabadi 针对生产系统主制造商协调激励问题，从利益共享视角设计了供应协调合同方式[10]。Zhao, Jian, Liu 从利益再分配和利益诱导视角，利用博弈论、优化模型和极大熵的思想与方法，构建了主制造商 - 供应商极大熵激励模型，并设计了适合主制造商 - 供应商模式的激励机制，激励供应商投入更多努力程度，确保复杂产品供应链的长期稳定运作[11]。在利益分配方法的研究方面，目前学术界主要运用基于产量、价格等的要素分配法、供应链契约、Shapley 值法、线性规划法、核心法等方法。

在成本分担机制方面，学者认为在主制造商和供应商协同研制中如果主制造商分担供应商的投入成本能够有效激励供应商，促使供应商投入更多的人员、时间、精力、技术，以实现整个供应链的收益最大。其中，Banerjee 和 Lin 构建了纵向研发合作模型，从理论分析了上下游企业的成本分担问题，指出企业研发合作的净收益与合作规模之间的关系，并给出研发成本的供应链分担机制[12]；在 Claycomb 和 Frankwick 的研究中，他们揭示了制造商和供应商的成本共担比例以及收益分配对合作的成功和深度具有直接的影响[13]；针对多阶段供应链的协调问题，Paksoy, Pehlivan 分析了供应链各成员间的相互关系，并从供应链结构成本、供应商运输成本、机会成本最小以及制造商和顾客的成本分担等方面出发利用三

角模糊数构建了模糊线性优化模型, 协调并处理供应链协调问题, 提升整个供应链的实力[14]; 此外, Sajadieh, Fallahnezhad 和 Khosravi 使用了三阶段的生产库存供应链模型对多供应商、多制造商、多零售商的生产系统进行研究, 他们为时间和成本共担的冲突协调机制建立了模型, 并提出了最优的策略组合和建议[15]; 同时, 彭鸿广和骆建文发挥了博弈论的理论优势, 研究了在信息对称和不对称情况下供应链中关于成本共担的最优线性激励契约问题, 并定量分析了不同分摊系数对供应商激励水平的影响[16]; 在陈洪转和方志耕等人关于复杂装备协同研制的激励问题的研究中, 他们认为提升供应商的努力程度是提高生产质量和效率的关键, 并利用 Nash 和 Stackelberg 博弈模型设计努力程度参数, 为主制造商为了分摊供应商努力程度的成本而设定的激励策略提供了模型, 并给出了两种不同的激励方式[17]; Huang, Fu, Ma 谈论了下游制造商如何减低投资成本为上游供应商提供服务和创造利润, 进而实现供应链利益主体间的有效协调[18]; 程永波, 李婷针对复杂产品共性技术研发的成本分担激励问题, 从政府的角度, 构建了政府最优成本分摊模型, 并研究了政府如何以最小的成本实现复杂产品共性技术研发协同[19]。

在构建激励机制方面, 主要从价格折扣、生产过程管理与库存管理、责任分担、信息共享等角度分析激励障碍、建立激励机制、设定激励比例和激励策略。从价格折扣角度, Mohammad 和 Ali 利用主从博弈模型研究了供应商的协调策略, 指出产品的价格折扣和有效的库存管理能够有效对供应链实施协调[20]; Sana, Chedid, Navarro 通过研究含有多个供应商制造商和供应商的三层供应链, 发现实施价格折扣策略对于产品质量和供应链协调具有非常强的促进作用[21]; 张楠, 周宗放针对随机市场需求环境下供应商持股制造商的协调问题, 利用博弈模型构建了供应商的最优批发价格决策与制造商的最优订货量决策, 并设计了基于回购策略与补贴策略的供应链协调契约[22]。在生产过程管理与库存管理方面, Soni, Joshi 针对采购问题和采购过程存在的不确定性, 利用库存模型构建了模糊优化模型, 研究发现采取合适采购成本、购买成本和利率交换等贸易信贷政策方法能够有效协调零售商[23]; Ang, Fukushima, Meng 等专家利用博弈论分析一个制造商多个供应商的关系, 并求解了其均衡条件, 并指出主制造商可以通过交付次数和价格影响供应商, 协调供应商[24]; 针对多供应商多制造商在全球采购和快速反应过程中受到需要等不确定性的影响问题, Liu, Nagurney 利用超网络模型构建了供应链网络模型, 并基于变分不等式分析了网络的均衡条件, 给出处理不确定性的对策[25]; 针对供应链产品产出和需求的不确定性, Hu, Lim, Lu 通过研究认为主制造商采取灵活的采购策略和利益分享策略能够有效协调供应商使其保障产品质量[26]; Jonrinaldi 和 Zhang 研究了含有一个制造商和两个供应商的逆向供应链协调问题, 利用博弈论构建了集成生产和库存模型, 并给出了求解方法和协调策略[27]。在责任分担等方面, Sebastian, Stefan 构建了 ANP 模型, 并利用其研究制造商和供应商协同 CO₂ 减排管理问题, 提出基于协同减排评价制造商和供应商关系来实现制造商和供应商的协同[28]。在信息共享协调策略方面, Gaur, Giloni 和 Seshadri 通过研究整个供应链存在的问题, 发现信息共享是影响供应链系统低效的主要原因, 并给出了相应的应对策略[29]。

综上所述, 在复杂装备协同研制激励的相关研究中, 大多关注在完备的信息环境下, 如何运用 Nash 均衡和 Stackelberg 博弈来分析和引导主制造商与供应商间的关系, 以制定激励策略。然而, 关于主制造商如何运用其地位和信息等优势资源来对供应商进行激励, 从而最大化个体及整体利益的研究却不多见。针对该问题, 本文结合博弈论与优化模型, 构造了一个基于增值利润共享的主制造商 - 供应商激励模型, 旨在为复杂装备的协同研制管理提供理论及方法支撑。

2. 复杂装备研制激励模型

复杂装备协同研制过程中, 各参与主体需要通过利益博弈和协商, 确保供应链的高度协调和生产系统利益的最大化。在此系统中, 主制造商因在资源、信息和地位等方面具有优势, 既拥有一定的控制力,

同时可以通过协调策略，鼓励供应商提高努力程度，从而达到供应链协调和最大化生产利益的目标。而供应商努力程度的付出既能增加收益，也会同时也产生一定的额外成本，会影响到供应商、主制造商、供应链整体的利润，可知，努力程度是复杂装备协同研制中的重要参数，决定着主制造商与供应商间能否形成长期的战略合作伙伴[3]。因此，如何在保障双方利益的基础上，设计合理的激励策略以激发供应商的积极性，实现主制造商与供应商的协同研制，已成为一项急需破解的难题。因此，本文将引用博弈论构建利润分配模型，并设计一套相应的激励机制。

2.1. 模型假设

假设 1：设存在一由主制造商和 n 个供应商构成的复杂装备协同研制系统，主制造商具有信息资源优势能够采取定的手段措施协调供应商，而供应商处于从属地位，与制造商以战略合作形式协同研制，且制造商和供应商均以追求利润最大化为目标，记供应商为 $i(i=1,2,\dots,n)$ 。

假设 2：在复杂装备协同研制系统中，各主体的投入，包括资金、技术、信息、人员以及合作等都被统称为努力程度，这对于研制主体以及整个系统的利润和绩效具有显著影响。由于复杂装备的定制化和个性化特性，一旦研制合同签订，价格和数量通常相对固定，因此，供应商的投入努力程度成为主制造商的关注重点。本文将供应商的努力程度作为研究变量，而不再考虑价格和数量等因素对于研制主体和研制系统的影响。设 s_i 表示供应商 i 与主制造商合作所投入的努力程度，且 $0 < s_i \leq 1$ 。

2.2. 基于努力程度的复杂装备研制主体利润模型

在复杂装备协同研制系统中，供应商的利润、成本和收益与其投入的努力程度有显著的相关性，这种关系影响和确定了研制主体和整个研制系统的利润规模。随着供应商增加投入的努力程度，它们的收益和成本也会有所增加。然而，当努力程度达到特定的临界点后，无论供应商如何提升其投入的努力程度，其收益的增长速度将会随着其投入的努力程度的增加而减少，而成本的增长速度将持续上升，即边际效应递减和边际成本递增。基于模型的假设和分析，借鉴道格拉斯生产函数，可以构建供应商的收益函数、成本函数和利润函数。

设 $G_i(s_i), C_i(s_i), R_i(s_i)$ 分别表示供应商 i 的收益函数、成本函数和利润函数，对于 $s_i \in (0, 1]$ ，则有

$$G_i(s_i) = m_i + 2\alpha_i s_i^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$C_i(s_i) = \frac{1}{2} \beta_i s_i^2 \quad (2)$$

$$R_i(s_i) = m_i + 2\alpha_i s_i^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2} \beta_i s_i^2 \quad (3)$$

其中， $m_i (m_i > 0)$ 为供应商 i 的固定收益，表示供应商 i 通过最低努力水平 s_i 获得的收益； $\alpha_i, \beta_i (\alpha_i > 0, \beta_i > 0)$ 分别表示供应商 i 的努力收益系数和努力成本系数； α_i, β_i 各参数可看作供应商的努力程度在收益函数，努力成本方面的边际收益或者影子价格。

在复杂装备协同研制系统中，主制造商处于核心地位，往往从整个研制系统出发，研制系统如果实现了最大利润，也等于其实现了利润最大化。而研制系统的收益和成本与供应商的努力程度密切相关，在供应商的努力程度和主制造商的集成作用下，研制系统产生收益与成本，相应地，可将研制系统的收益与成本看作在主制造商集成作用下关于供应商努力程度的函数，并且努力程度遵循边际效益递减，边际成本递增，相应地，可构建研制系统的收益函数、成本函数和利润函数。

记 $E = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 为供应商努力程度集合，设 $G(E), C(E), R(E)$ 分别表示研制系统的收益函数、成

本函数和利润函数，对于 $s_i \in (0,1]$ ，则有

$$G(E) = m + 2 \sum_{i=1}^n \left(\alpha'_i s_i^{\frac{1}{2}} \right) \tag{4}$$

$$C(E) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\beta'_i s_i^2) \tag{5}$$

$$R(E) = G(E) - C(E) = m + 2 \sum_{i=1}^n \left(\alpha'_i s_i^{\frac{1}{2}} \right) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\beta'_i s_i^2) \tag{6}$$

其中， m 表示在主制造商集成作用下所有供应商都以最低的努力程度实现研制的系统固定收益，且 $m \geq \sum_{i=1}^n m_i$ ； α'_i, β'_i 分别表示在主制造商集成作用下努力程度对研制系统收益作用系数和成本作用系数，且 $\alpha'_i, \beta'_i > 0, \alpha_i \neq \alpha'_i, \beta_i \neq \beta'_i$ 。

设 $R_m(E)$ 表示主制造商的利润函数，根据供应商和研制系统的收益、成本和利润函数，可得主制造商的利润函数，其如下所示。

$$R_m(E) = G(E) - C(E) - \sum_{i=1}^n R_i(s_i) = m - \sum_{i=1}^n m_i + 2 \sum_{i=1}^n \left[(\alpha'_i - \alpha_i) s_i^{\frac{1}{2}} \right] - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(\beta'_i - \beta_i) s_i^2] \tag{7}$$

2.3. 基于增值利润共享的激励机制设计

1) 非合作情形下均衡分析

在复杂装备研制系统中，研制主体具有有限理性，并存在复杂的利益博弈关系。当主制造商不实施激励措施时，主制造商与供应商之间形成非合作博弈关系，供应商将根据自身利益最大化的目标，选择其最优的投入努力程度。这样，主制造商和供应商间形成一种最优努力程度的选择的均衡关系。

定理 1 设 s_i^* 表示供应商 Nash 均衡下的最优努力程度，如果主制造商与供应商非合作，则供应商的最优努力程度为

$$E^* = (s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*) = \left[\left(\frac{\alpha_1}{\beta_1} \right)^{\frac{2}{3}}, \dots, \left(\frac{\alpha_n}{\beta_n} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \tag{8}$$

证明：对供应商 i ，如果从自身利益最大化进行决策，根据纳什均衡的条件可知， $R_i(s_i^*) \geq R_i(s_i)$ ， $\forall s_i \neq s_i^*$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，则有

$$\frac{\partial W_i(s_i)}{\partial s_i} = \alpha_i s_i^{-\frac{1}{2}} - \beta_i s_i \tag{9}$$

令 $\frac{\partial W_i(s_i)}{\partial s_i} = 0$ ，可得： $E^* = (s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*) = \left[\left(\frac{\alpha_1}{\beta_1} \right)^{\frac{2}{3}}, \dots, \left(\frac{\alpha_n}{\beta_n} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$ 。

根据定理 1，可知，在非合作情形下，供应商的最优努力程度与努力收益系数和努力成本系数相关。由于努力程度取值为(0,1]，收益系数小于等于成本系数，且收益系数与最优努力程度成反比，成本系数与最优努力程度成正比。

根据供应商最优努力程度，可计算得到非合作情形下供应商、供应链和主制造商的利润函数。

2) 合作情形下均衡分析

对于复杂装备协同研制系统，为了实现研制系统利润最大化，供应商各主体需要按照合适的努力程度协同研制。

定理 2 对于复杂装备研制系统，设 s_i^{**} 表示研制系统协同合作时供应商的最优努力程度，则供应商的最优努力程度为

$$E^{**} = (s_1^{**}, \dots, s_i^{**}, \dots, s_n^{**}) = \left[\left(\frac{\alpha'_1}{\beta'_1} \right)^{\frac{2}{3}}, \dots, \left(\frac{\alpha'_i}{\beta'_i} \right)^{\frac{2}{3}}, \dots, \left(\frac{\alpha'_n}{\beta'_n} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \quad (10)$$

证明：如果主制造商与供应商协同合作研制复杂装备，研制系统利润最大化时，则有

$$\frac{\partial R(E)}{\partial s_i} = \sum_{i=1}^n \left[\alpha'_i s_i^{-\frac{1}{2}} - \beta'_i s_i \right] \quad (11)$$

令公式(11)为 0，可得 $s_i^{**} = \left(\frac{\alpha'_i}{\beta'_i} \right)^{\frac{2}{3}}$ ，则得证。

根据定理 2，可知，主制造商与供应商协同合作时，供应商的最优努力程度取决于主制造商集成作用下供应商的努力收益系数和努力成本系数，且供应商的最优努力程度与主制造商集成作用下努力程度收益系数成反比，而与努力成本系数成正比。

设 $R_i(s_i^{**}), R_m(E^{**})$ 分别表示合作非激励时供应商和制造商的增值利润，根据主制造商与供应商协同合作时，供应商最优努力程度，则可求出供应商、研制系统和主制造商的利润以及研制系统增值。

3) 激励机制设计

在复杂装备研制过程中，如果主制造商与供应商协同合作，虽然能够实现整体利润最大化，但是供应商由于投入的努力程度超出或者小于自身利润最大化时的努力程度，以致于其可能面临着损失。为了实现研制系统稳定和可持续发展，主制造商需要利用自身的优势与资源，采用一定的措施诸如拿出一份利润激励供应商，调动各供应商的积极性，使得供应商都投入合适的努力程度，实现整体使得研制主体利润均能增大。而设计激励机制，实现主制造商与供应商的协同合作，前提需要保证激励协同合作后供应商和主制造商的利润不得小于非合作时，并且主制造商期望拿出的增值利润越小越好。考虑到研制主体间的冲突归根到底是利益冲突，本部分尝试从研制系统增值利润共享角度，设计主制造商与供应商激励机制。

设 R_g, R_m 分别表示供应商和制造商获得研制系统增值部分的利润， λ 表示主制造商为激励供应商而拿出研制系统增值利润的比例； Δr_i 表示供应商 i 从主制造商拿出的部分研制系统增值利润中获得的增值

共享利润，并用 $\frac{\alpha'_i s_i^{**}}{\sum_{i=1}^n \alpha'_i s_i^{**}}$ 作为供应商获得主制造商拿出的部分研制系统增值利润的比例，根据上面的分

析，可建立基于增值利润共享的激励模型。

$$\begin{aligned} \min R_g &= \lambda R(E) \\ \max R_m &= (1 - \lambda) R(E) \\ \text{s.t.} & \begin{cases} R_i(s_i^{**}) + \Delta r_i \geq R_i(s_i^*) \\ R_m(E^{**}) + R_m \geq R_m(E^*) \end{cases} \end{aligned} \quad (12)$$

其中, $\Delta r_i = \frac{\alpha'_i s_i^{**}}{\sum_{i=1}^n \frac{\alpha'_i s_i^{**}}{\beta'_i}} R_g$ 表示供应商 i 从研制系统增值利润中获得的增值共享利润。

根据(12), 可求得

$$R_g = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha'_1 s_1^{**}}{\beta'_1} R_{g_1} \geq R(s_1^*) - R(s_1^{**}) \\ \sum_{i=1}^n \frac{\alpha'_i s_i^{**}}{\beta'_i} \\ \dots \\ \frac{\alpha'_n s_n^{**}}{\beta'_n} R_{g_n} \geq R(s_n^*) - R(s_n^{**}) \\ \sum_{i=1}^n \frac{\alpha'_i s_i^{**}}{\beta'_i} \end{array} \right. = \max(R_{g_1}, R_{g_2}, \dots, R_{g_n}) \quad (13)$$

设 $R'_i(s_i^{**}), R'_m(E^{**})$ 分别表示合作非激励时供应商和制造商的增值利润, 根据激励模型, 可确定供应商和主制造商激励协调后的利润函数, 其分别为:

$$\begin{aligned} R'_i(s_i^{**}) &= G_i(s_i^{**}) - C_i(s_i^{**}) + \Delta r_i = m_i + 2\alpha_i \left[\left(\frac{\alpha'_i}{\beta'_i} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2} \beta_i \left[\left(\frac{\alpha_i}{\beta_i} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^2 + \Delta r_i \\ &= m_i + 2\alpha_i \left(\frac{\alpha'_i}{\beta'_i} \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{1}{2} \beta_i \left(\frac{\alpha'_i}{\beta'_i} \right)^{\frac{4}{3}} + \frac{\alpha'_i s_i^{**}}{\sum_{i=1}^n \frac{\alpha'_i s_i^{**}}{\beta'_i}} R_g \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} R'_m(E^{**}) &= R(E^{**}) - \sum_{i=1}^n R_i(s_i^{**}) - R_g = G(E^{**}) - C(E^{**}) - \sum_{i=1}^n R_i(s_i^{**}) - R_g \\ &= m - \sum_{i=1}^n m_i + 2 \sum_{i=1}^n \left[\left(\alpha'_i - \alpha_i \right) \left(\frac{\alpha'_i}{\beta'_i} \right)^{\frac{1}{3}} \right] - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[\left(\beta'_i - \beta_i \right) \left(\frac{\alpha'_i}{\beta'_i} \right)^{\frac{4}{3}} \right] - R_g \end{aligned} \quad (15)$$

对比激励后主制造商与供应商的利润与非合作时和合作非激励时的利润, 可以发现, $R'_m(E^{**}) \geq R_m(E^{**}), R'_m(E^{**}) \geq R_m(E^*); R'_i(s_i^{**}) \geq R_i(s_i^{**}), R'_i(s_i^{**}) \geq R_i(s_i^*)$ 。表明, 主制造商拿出来部分增值利润 R_g 去激励供应商, 可调动供应商的积极性, 实现研制系统整体利润的最大化, 同时实现各研制主体利润最大化, 实现双赢。

3. 数值案例分析

设研制某一型号汽车发动机, 某发动机制造企业邀请其 5 个主要供应商合作, 实施联合研制。为了最大化研制系统的利益, 汽车发动机制造企业通过实施一定的协调激励手段和措施, 在一定程度上能够激励供应商提高其努力程度。根据企业经营和合作情况, 可令主制造商和 5 个供应商的相关参数值如表 1 所示。

根据表 1 的相关参数, 利用所构建的模型, 可分别求得在非合作和合作时的最优努力程度, 以及激励的最小比例 $\lambda = 0.45$, 研制系统的增值利润 $R(E) = 18.34$, 供应商获得的总激励为 $R_g = 8.27$, 并计算

出制造商和供应商在不同情形下的利润，如表 2 所示。

Table 1. Parameters related to the main body of development

表 1. 研制主体相关参数

	α_i	β_i	α'_i	β'_i	m_i
供应商 1	5.1	35	3	6	16
供应商 2	5.5	28	3.8	12.2	20
供应商 3	4.1	18.5	2.3	8.2	21
供应商 4	2.8	20	3.1	12.2	12
供应商 5	3.7	20.5	3.4	10.2	15
研制系统					125

Table 2. Supplier's optimal effort level and the profit of the development body

表 2. 供应商最优努力程度与研制主体利润

	非合作 不激励最优	合作激励 最优	收益共享 激励收入	非合作 不激励利润	合作激励 前利润	合作激励 后总利润
供应商 1	0.28	0.63	2.88	20.03	19.57	22.45
供应商 2	0.34	0.46	1.31	24.80	23.86	25.17
供应商 3	0.37	0.47	1.36	24.72	23.36	24.72
供应商 4	0.27	0.45	1.25	14.18	15.13	16.38
供应商 5	0.32	0.48	1.46	18.14	18.54	20
主制造商				38.26		49.74
研制系统				140.12		158.46

根据表 2，可知，经过主制造商的增值利润共享激励，供应商的努力行为均有所增加，在合作激励前供应商 1、供应商 2 和供应商 3 的利润低于非合作不激励的利润。通过增值利润共享激励使得供应商的利润在合作激励后都不低于非合作不激励时的利润，并且只有供应商 3 的利润等于非合作不激励时的利润，其余供应商利润皆大于供应商非合作不激励的利润。

研制系统的利润在非合作不激励时为 140.12，协同合作时，研制系统利润增加到 158.46。主制造商为了调动各供应商的积极性，利用优势地位和资源优势采取增值利润共享方式对供应商激励，即拿出增值利润的 45%， $R_g = 8.27$ ，各供应商分别获得 2.88、1.31、1.36、1.25、1.46，通过激励，能够使研制主体利润均不小于非合作时的利润，确保制造商与供应商长期战略合作。

通过模型和案例分析，表明，所构建的模型能够有效描述复杂装备协同研制激励问题，并能够调动研制主体的积极性与能动性，促使供应商投入更多的努力程度，实现研制系统的稳定和可持续发展。

4. 结论

针对复杂装备协同研制激励问题，利用博弈分析技术，从增值利润共享角度，构建了主制造商-供应商激励模型。通过模型和案例分析，该模型具有如下优势：

1) 所构建的模型充分考虑影响研制主体协同的关键因素，以利益主体努力程度构建利润函数，探讨合作和非合作利益主体的最优均衡策略；

2) 所构建的模型能够有效描述装备协同研制激励问题, 在确保研制主体利润不受损的情况下, 以增值利润共享方式调动研制主体的积极性与能动性, 促使供应商投入更多的努力程度, 实现研制系统的稳定和可持续发展。

但是模型也存在一些不足, 诸如是将努力程度作为研究的变量, 而并没有考虑复杂装备产品的价格和数量以及政策环境等因素, 后期将加强这个方面的研讨。

参考文献

- [1] Desiraju, R. and Moorthy, S. (1997) Managing a Distribution Channel under Asymmetric Information with Performance Requirements. *Management Science*, **43**, 1628-1644. <https://doi.org/10.1287/mnsc.43.12.1628>
- [2] Das, T.K. and Teng, B.S. (2003) Collaborative Advantage of Strategic Alliances: Value Creation in the Value Net. *Journal of General Management*, **29**, 1-22. <https://doi.org/10.1177/030630700302900201>
- [3] Fu, Y.H. and Piplani, R. (2004) Supply-Side Collaboration and Its Value in Supply Chains. *European Journal of Operational Research*, **152**, 281-288. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00670-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00670-7)
- [4] 陈洪转, 刘思峰, 何利芳. “主制造商-供应商”协同主体双重努力最优合作协调[J]. 系统工程, 2012, 30(7): 30-34.
- [5] John, V.D. and David, D.V. (1998) Goods-Market Competition and Profit Sharing: A Multi-Sector Macro Approach. *Journal of Economics and Business*, **50**, 525-534. [https://doi.org/10.1016/S0148-6195\(98\)00017-4](https://doi.org/10.1016/S0148-6195(98)00017-4)
- [6] 郭敏, 王红卫. 合作型供应链的协调和激励机制研究[J]. 系统工程, 2002(4): 49-53.
- [7] 赵晓丽, 乞建勋. 供应链不同合作模式下合作利益分配机制研究——以煤电企业供应链为例[J]. 中国管理科学, 2007, 15(4): 70-76.
- [8] Gerard, P.C. and Martin, A.L. (2005) Supply Chain Coordination with Revenue-Sharing Contracts: Strengths and Limitations. *Management Science*, **51**, 30-44. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0215>
- [9] 杨继君, 许维胜, 吴启迪, 等. 基于合作博弈的联盟公积金制度在供应链中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(3): 63-68.
- [10] Iman, N. and Nookabadi, A.S. (2014) Designing a Supply Contract to Coordinate Supplier's Production, Considering Customer Oriented Production. *Computers & Industrial Engineering*, **74**, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.04.012>
- [11] Zhao, H.H., Jian, L.R. and Liu, Y. (2015) A Maximum Entropy Incentive Model for “Main Manufacturer-Suppliers” Cooperation Relationship of Large Civil Aircraft. *The Journal of Grey System*, **27**, 151-165.
- [12] Banerjee, S. and Lin, P. (2001) Vertical Research Joint Ventures. *International Journal of Industrial Organization*, **19**, 285-302. [https://doi.org/10.1016/S0167-7187\(99\)00046-6](https://doi.org/10.1016/S0167-7187(99)00046-6)
- [13] Claycomb, C. and Frankwick, G.L. (2005) The Dynamics of Buyer's Perceived Costs during a Relationship Development Process: An Empirical Assessment. *Journal of Business Research*, **58**, 1662-1671. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2004.10.004>
- [14] Paksoy, T. and Pehlivan, N.Y. (2012) A Fuzzy Linear Programming Model for the Optimization of Multi-Stage Supply Chain Networks with Triangular and Trapezoidal Membership Functions. *Journal of the Franklin Institute*, **349**, 93-109. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2011.10.006>
- [15] Sajadieh, M.S., Fallahnezhad, M.S. and Khosravi, M. (2013) A Joint Optimal Policy for a Multiple-Suppliers Multiple-Manufacturers Multiple-Retailers System. *International Journal of Production Economics*, **146**, 738-744. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.09.002>
- [16] 彭鸿广, 骆建文. 不对称信息下供应链成本分担激励契约设计[J]. 系统管理学报, 2015, 24(2): 267-274.
- [17] 陈洪转, 方志耕, 刘思峰, 等. 复杂装备主制造商-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): 98-104.
- [18] Huang, S.L., Fu, H. and Ma, Y.K. (2016) Coordinating a Supply Chain When Manufacturer Makes Cost Reduction Investment in Supplier. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, **16**, 32-40. <https://doi.org/10.1155/2016/4762397>
- [19] 程永波, 李婷, 陈洪转, 等. 复杂产品共性技术研发的政府最优成本补贴[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2015, 36(3): 432-436.
- [20] Mohammad, R. and Ali, S.N. (2014) Coordination Mechanism for a Deteriorating Item in a Two-Level Supply Chain System. *Applied Mathematical Modeling*, **38**, 2884-2900. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.11.019>
- [21] Sana, S.S., Chedid, J.A. and Navarro, K.S. (2014) A Three Layer Supply Chain Model with Multiple Suppliers, Manu-

-
- facturers and Retailers for Multiple Items. *Applied Mathematics and Computation*, **229**, 139-150. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2013.12.006>
- [22] 张楠, 周宗放. 供应商持股制造商的供应链协调[J]. 系统工程, 2016, 34(4): 89-94.
- [23] Soni, H.N. and Joshi, M. (2013) A Fuzzy Framework for Coordinating Pricing and Inventory Policies for Deteriorating Items under Retailer Partial Trade Credit Financing. *Computers & Industrial Engineering*, **66**, 865-878. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.09.008>
- [24] Ang, J., Fukushima, M., Meng, F.W., *et al.* (2013) Establishing Nash Equilibrium of the Manufacturer Supplier Game in Supply Chain Management. *Journal of Global Optimization*, **56**, 1297-1312. <https://doi.org/10.1007/s10898-012-9894-3>
- [25] Liu, A.G. and Nagurney, A. (2013) Supply Chain Networks with Global Outsourcing and Quick-Response Production under Demand and Cost Uncertainty. *Annals of Operations Research*, **208**, 251-289. <https://doi.org/10.1007/s10479-011-1006-0>
- [26] Hu, F., Lim, C.C. and Lu, Z.D. (2013) Coordination of Supply Chains with a Flexible Ordering Policy under Yield and Demand Uncertainty. *International Journal of Production Economics*, **146**, 686-693. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.08.024>
- [27] Jonrinaldi, D. and Zhang, Z. (2013) An Integrated Production and Inventory Model for a Whole Manufacturing Supply Chain Involving Reverse Logistics with Finite Horizon Period. *Omega*, **41**, 598-620. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.07.001>
- [28] Sebastian, T. and Stefan, S. (2014) Strategic Analysis of Manufacturer-Supplier Partnerships: An ANP Model for Collaborative CO₂ Reduction Management. *European Journal of Operational Research*, **233**, 383-397. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.08.023>
- [29] Gaur, V., Giloni, A. and Seshadri, S. (2005) Information Sharing in a Supply Chain under ARMA Demand. *Management Science*, **51**, 961-969. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1050.0385>