

# 考虑风险承担和知识贡献的产业技术创新联盟利益分配机制

王 壮

江南大学商学院, 江苏 无锡

收稿日期: 2024年3月22日; 录用日期: 2024年6月17日; 发布日期: 2024年6月25日

## 摘 要

产业技术创新是提高产业创新能力和核心竞争力的重要手段和途径, 而产业技术创新联盟是实现产学研深度融合和产业技术创新的一种新型组织形态。然而由于目标和诉求的不同, 创新主体往往并不以联盟整体利益最大化为目标投入相应的努力程度和合作程度, 这直接影响到联盟的协同创新效率与稳定运行。为合理协调联盟成员间的利益关系, 亟需建立一种有效的利益分配机制。基于此, 针对产业技术创新联盟的利益分配问题, 利用博弈论和优化模型, 构建了产业技术创新联盟利益模型, 分析了合作和非合作下的最优决策, 考虑到风险承担和知识贡献是影响利益分配的重要因素, 设计了联盟利益分配机制, 并以案例验证了模型的可行性和有效性。

## 关键词

利益分配, 努力水平, 风险承担, 知识贡献

# Benefit Distribution Mechanism of Industrial Technology Innovation Alliance Considering Risk Bearing and Knowledge Contribution

Zhuang Wang

School of Business, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu

Received: Mar. 22<sup>nd</sup>, 2024; accepted: Jun. 17<sup>th</sup>, 2024; published: Jun. 25<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

The industrial technology innovation is an important means and way to improve industrial inno-

vation capacity and core competitiveness, while its alliance is a new organizational form to realize the deep integration of industry-university-research and industrial technology innovation. However, due to the different goals and demands, innovation subjects often do not put in the corresponding degree of effort and cooperation with the goal of maximizing the overall benefits of the alliance, which directly affects the efficiency and stable operation of collaborative innovation of the alliance. In order to reasonably coordinate the interest relationship among alliance members, an effective benefit allocation mechanism is urgently needed. In view of this, we address the benefit distribution problem of industrial technology innovation alliance, construct a benefit model of industrial technology innovation alliance using game theory and optimization model, analyze the optimal decision under cooperation and non-cooperation, design the benefit distribution mechanism of alliance considering risk taking and knowledge contribution as important factors affecting benefit distribution, and verify the feasibility and effectiveness of the model with cases.

## Keywords

Benefit Distribution, Effort Level, Risk Bearing, Knowledge Contribution

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

随着我国大力推进建设创新型国家,构建创新体系建设,对突破原始创新和共性技术研发提出了更高的要求,通过建立产业技术创新联盟,推动企业与高校、科研机构之间密切合作是实现技术有效突破的重要手段[1]。我国的产业技术创新联盟以产学研创新联盟为主要合作形式,在政府的推动和引导下,以提升技术创新能力为核心目标,集中力量突破现有的生产力水平[2]。总的来说,产业技术创新联盟是一种新型产学研合作模式,有利于企业突破现有产业限制,是我国创新体系在产业层面的进一步推进。目前中国以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系总体格局正在形成,但许多产业技术创新联盟的合作效率却不容乐观。影响产业技术创新联盟稳定运行的关键因素在于各主体利益分配是否公平,然而由于目标和诉求的不同,创新主体往往并不以联盟整体利益最大化为目标投入相应的努力程度和合作程度,这直接影响到联盟的协同创新效率与稳定运行。所以建立合理的利益分配机制是协调各主体利益关系的关键[3]。鉴于此,考虑到各创新主体的风险承担和知识贡献是影响利益分配的重要因素,本文设计了产业技术创新联盟利益分配机制。

## 2. 相关研究

合理的利益分配过程能够激发产业技术创新联盟中各主体的创新活力,提高整个联盟的自主创新能力和核心竞争力。由此,国内外学者们针对产业技术创新联盟的利益分配问题展开了大量相关研究,通过梳理文献发现,学者们对产业技术创新联盟的利益分配研究主要包括产业技术创新联盟利益分配的影响因素识别和利益分配机制设计两个方面。

### 2.1. 产业技术创新联盟利益分配的影响因素识别

产业技术创新联盟利益分配的影响因素众多,通过梳理相关文献发现联盟利益分配的影响因素主要包括各主体相对重要性、努力水平、风险承担、知识共享等。其中,Wang C等(2021)分析表明,在联盟

中每个成员的最佳利润分配应该与其在合作创新项目中的相对重要性呈正相关[4]。Guo S 等(2022)研究表明参与者的努力程度与利益分配呈正相关,与其贡献系数成正比,与参与者在努力方面的创造性活动成本的平方成反比[5]。刘勇(2016)在基于利益分配视角设计产学研协同创新激励机制时,同时考虑了各主体的努力水平和合作水平[6]。Du J 等(2018)认为影响联盟利益分配的五個关键因素是风险分担、融资能力、投资、管理能力和努力水平,其中风险分担是最重要的因素[7]。Zhong Z 等提出了一个概念框架来阐述风险承担、合同形式、合作寿命与利益分配之间的关系[8]。Dai P 等(2022)构建利润分配模型时,在边际贡献、资源投入效率和风险承担等传统影响因素的基础上,进一步考虑了通信结构限制和任务完成质量的影响[9]。Liu H 等(2021)认为利益分配和协同创新能力对协同创新项目的绩效具有显著的正向影响,其中有效沟通、知识共享和协作创新能力具有直接影响[10]。Lucena A 等(2016)认为企业在研发中的吸收能力和双外部性是技术联盟多样性和联盟利益分配之间的中介因素[11]。Zhao J 等(2020)研究了政府补贴对利润分配的影响,发现政府可以通过调整政府补贴率来控制利润分配模式[12]。Li L 等(2019)在对城市联合配送联盟的利益分配方案进行改进时,提出了企业运营、客户满意度、环境可持续性和信息技术四个标准[13]。Cabello-Medina C 等(2018)在合作伙伴和地理多样性不同的情况下分析了协调和组织间学习能力对联盟利益的影响[14]。Chen KH 等(2020)研究得到在不同的创新组织间环境中,网络位置对其利益分配的影响模式可能因网络结构和组成而有所不同[15]。Hofman E 等(2017)发现创新网络成员之间的组织耦合程度对联盟合作创新的利益创造有显著影响,且创新类型具有显著的调节作用[16]。Meng F 等(2022)在进行利润分配时,综合考虑了供应链周期结构、技术、分工、政治和历史原因造成的联盟限制等多个因素[17]。

## 2.2. 产业技术创新联盟利益分配机制设计

在产业技术创新联盟利益分配机制设计方面的研究多利用修正的 Shapley 值法、合作博弈模型、讨价还价模型等对联盟利益进行合理分配,而激励机制实则也是通过利益来对各主体进行激励的,利益分配机制是否合理直接决定了联盟的稳定性和运行发展。Bierly (2004)对于不同的治理模式分别设计了对应的联盟收益分配策略[18]。Agrawal 等(2020)提出了一种基于遗传算法和教学优化的进化启发式算法。他们通过数值实验分析了各种利益分配方案的强度,并表明 Shapley 函数值的利益分配是最公平和合理的[19]。Margaret 等(2016)发现在创新联盟中处于有利位置的企业比其他主体从联盟中能够获得更多的收益[20]。Han R 等(2022)以绿色低碳为背景,通过建立“政府-成员 A 企业-成员 B 企业”三方演化博弈模型探讨了影响联盟利益分配和稳定性的因素,并基于系统动力学进行了数值仿真[21]。Guo B 等(2021)从供应商和顾客的角度出发,采用修正的 Shapley 值法建立了班轮联盟的利益分配模型,并通过案例分析进行验证[22]。Song C 等(2022)针对考虑利益分配协议和不确定需求的航运联盟的舱位分配和交换问题,开发了一个两阶段随机规划模型,以达到联盟利益最大化的同时使每个成员得到的实际收益与协议规定收益偏差最小化[23]。Wang X 等(2022)构建了考虑风电出力和需求响应不确定性的分布式鲁棒优化模型,并基于讨价还价博弈理论,提出了考虑每个参与者实际贡献的利益分配模型[24]。Hosseini-Motlagh S M 等(2022)利用进化博弈理论,研究了供应链成员对渠道协调的进化策略和利益盈余分配机制[25]。

通过对以上文献的阅读和分析发现,现有研究在进行利益分配机制设计时未同时考虑风险承担和知识贡献两大重要因素,同时对利益分配有关影响因素的测度多为定性分析,缺乏定量研究。鉴于此,考虑到风险承担、知识贡献是影响产业技术创新联盟利益分配的重要因素,本文运用博弈论和优化模型,设计了产业技术创新联盟利益分配机制。

## 3. 产业技术创新联盟利益分配机制设计

产业技术创新联盟通过创新要素的整合来实现产业核心技术的突破,提高科研成果转化率,是建立

以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的国家技术创新体系的主要工具和载体，产业技术创新联盟的运行结构如图 1 所示。在产业技术创新联盟中，企业作为主导方，也是各种创新资源的主要协调者和创新利益的主要享用者；政府在联盟中发挥引导者和推动者的作用；而高校和科研院所则是联盟技术研发活动的主要参与者[26]。然而作为新兴的产学研合作模式，产业技术创新联盟的失败率却一直居高不下，其中利益分配不合理是导致联盟成员退出或联盟解散的重要原因之一[27]。由于目标和诉求的不同，创新主体往往并不以联盟整体利益最大化为目标投入相应的努力程度和合作程度，直接影响到联盟的协同创新效率与稳定运行。因此，如何建立合理的利益分配机制激发联盟中各主体的创新活力，促使其投入更多的努力水平和合作水平，保证联盟长久稳定发展，成为产业技术创新联盟迫切需要解决的问题。鉴于此，考虑到各创新主体的风险承担和知识贡献是影响产业技术创新联盟的重要因素，以非合作下的收益为威慑点，设计了一个产业技术创新联盟利益分配机制。

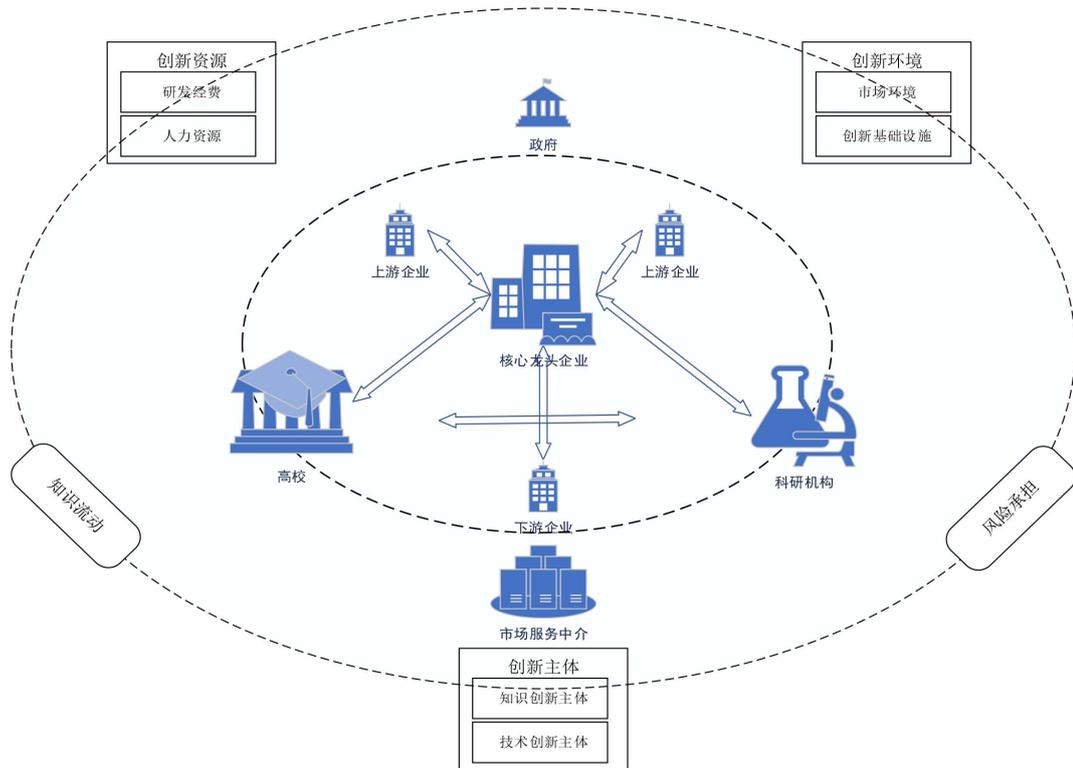


Figure 1. Organizational and operational structure of industrial technology innovation alliance  
图 1. 产业技术创新联盟组织运行结构图

### 3.1. 模型假设

根据以上问题分析，可给出以下假设：

**假设 1** 假设存在一个由龙头企业主导，高校、科研院所、金融机构、咨询机构等  $n$  个创新主体组成的产业技术创新联盟，记作  $N = \{1, \dots, i, \dots, n\}$ ，其中  $i (i = 1, 2, \dots, n)$  表示各创新主体，且创新主体均为理性人。

**假设 2** 产业技术创新联盟整体利益的实现是各创新主体共同努力与合作的结果，一般来说，产业技术创新联盟中的各创新主体的努力水平主要包括其投入的资金、人力、设备等资源。各创新主体只有投入足够的努力水平和合作水平才能保障研发活动成功，并获得产业技术联盟价值链增值，所以各创新主

体的努力水平和合作水平是决定产业技术创新联盟利益的关键因素[28]。我们以各创新主体的努力水平和合作水平作为研究变量，而不再考虑其他变量对产业技术创新联盟创造利益的影响与作用。令  $e_i, t_i$  分别表示创新主体  $i (i=1, 2, \dots, n)$  的努力水平和合作水平，且满足  $0 < e_i \leq 1, 0 < t_i \leq 1$ ，则产业技术创新联盟中创新主体的努力集和合作集可相应表示为  $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$  和  $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ 。

**假设3** 各创新主体的努力水平不仅影响其自身的成本和收益，也会同样作用于产业技术联盟价值链。令  $m, m_i, k_i, v_i, \lambda_i \left( m > \sum_{i=1}^n m_i > 0, \lambda_i > k_i > 0, 0 < v_i < 1 \right)$  分别表示联盟整体和创新主体  $i$  基于最低努力水平和合作水平投入时的固定收益及创新主体  $i$  的努力收益系数、收益弹性系数和对联盟整体贡献的收益系数。而国家针对产业技术研发出台的各项政策会对创新主体  $i$  和联盟整体产生一个正效用，分别记为  $f_i(p_1, p_2, \dots, p_n), f(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 。

**假设4** 创新主体付出的努力水平和合作水平会为其带来一定的利润，但同时也需要付出一定的成本[29] [30] [31]。令  $c, c_i, \beta_i, \theta_i \left( c > \sum_{i=1}^n c_i > 0, 0 < \theta_i < \beta_i < 1 \right)$  分别表示联盟整体和创新主体  $i$  基于最低努力水平和合作水平投入时的固定成本及创新主体  $i$  的努力成本系数和对联盟整体付出的成本系数。各主体之间的合作在影响各创新主体收益的同时，也会对创新主体  $i$  和联盟整体产生一个负效用，分别记为  $f_i, f$ ，其不仅与各主体间的合作程度  $t_i$  有关，还与合作集  $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$  有关，即  $f_i = f_i(t_1, t_2, \dots, t_n), f = f(t_1, t_2, \dots, t_n)$ 。

**假设5** 在产业技术创新联盟中，各创新主体通常投入一定的努力水平和合作水平来追求自身利益最大化，而具有主导地位的创新主体为实现产业技术创新联盟的整体利益最大化，往往采用一定的策略来协调各主体的协同研发活动。

### 3.2. 产业技术创新联盟基本利润模型

产业技术创新联盟的利润通常包括各创新主体的应得利润和增值利润两部分。在产业技术创新联盟中，处于核心地位的企业由于具有资金、技术、项目等优势资源，负责协调其余创新主体的研发行为和利益关系，而其他创新主体处于从属地位，在核心企业的领导协调下积极进行协同研发工作，以获得更多期望利润，在一定程度上协调者和其他创新主体之间遵从主从博弈关系。

#### 3.2.1. 创新主体个人利益模型

在产业技术协同创新活动中，创新主体  $i$  的收益是关于努力水平  $e_i$  和合作水平  $t_i$  的函数，且呈正比关系，创新主体付出的努力水平越高，其获得的收益越多。但在生产交换过程中存在着边际收益递减效应，随着创新主体努力水平的提高，其期望收益的增长幅度反而会变小，且当创新主体努力水平增加到一定程度后，不管其如何在产业技术协同研发活动中提高努力水平，都无法使其收益明显增加。

令  $W_i(e_i, t_i), C_i(e_i), \pi_i(e_i, t_i)$  分别表示创新主体  $i$  关于努力水平和合作水平的收益函数、成本函数和利润函数。一般来说，创新主体的收益函数与努力水平  $e_i$  和合作水平  $t_i$  成正比，根据道格拉斯函数，可将创新主体  $i$  的收益函数  $W_i(e_i, t_i)$  与合作水平之间的关系表示为：

$$W_i(e_i, t_i) = \left( t_i \sum_{i=1}^n t_i \right) W_i(e_i) \quad (1)$$

则创新主体  $i$  在产业技术创新联盟中的收益函数  $W_i(e_i, t_i)$  可以表示为：

$$W_i(e_i, t_i) = k_i \left( t_i \sum_{i=1}^n t_i \right) (e_i)^{v_i} + m_i \quad (2)$$

各创新主体在付出努力的同时也要付出一定的成本，一般来说，在产业技术创新联盟研发过程中各创新主体付出的成本与努力水平呈现正相关关系，且随着努力水平的增加，边际成本也是递增的。则创新主体  $i$  的成本函数  $C_i(e_i)$  为：

$$C_i(e_i) = \frac{1}{2} \beta_i (e_i)^2 + c_i \quad (3)$$

**定理 1** 对于创新主体  $i$ ，在其投入努力水平  $e_i$  和合作水平  $t_i$  时，其在产业技术创新联盟价值链中的利润函数  $\pi_i(e_i, t_i)$  为：

$$\begin{aligned} \pi_i(e_i, t_i) = & k_i \left( t_i \sum_{i=1}^n t_i \right) (e_i)^{v_i} - \frac{1}{2} \beta_i (e_i)^2 + m_i - c_i \\ & + f_i(p_1, p_2, \dots, p_n) - f_i(t_1, t_2, \dots, t_n) \end{aligned} \quad (4)$$

证明：各创新主体  $i$  在产业技术创新联盟中以努力水平  $e_i$  和合作水平  $t_i$  参与研发时的收益函数、成本函数、正效用和负效用分别为  $W_i(e_i, t_i) = k_i \left( t_i \sum_{i=1}^n t_i \right) (e_i)^{v_i} + m_i$ 、 $C_i(e_i) = \frac{1}{2} \beta_i (e_i)^2 + c_i$ 、 $f_i(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 、 $f_i(t_1, t_2, \dots, t_n)$ ，代入  $\pi_i(e_i, t_i) = W_i(e_i, t_i) - C_i(e_i) + f_i(p_1, p_2, \dots, p_n) - f_i(t_1, t_2, \dots, t_n)$  中，则式(4)得证。

### 3.2.2. 产业技术创新联盟整体利益模型

类似地，由于产业技术创新联盟整体的收益、成本和利润是关于创新主体努力集  $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$  和合作集  $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$  的函数，令  $W(E, T), C(E), \pi(E, T), \pi_0(E, T)$  分别表示联盟整体关于创新主体努力集与合作集的收益函数、成本函数、利润函数和增值利润函数，则基于道格拉斯函数，可得其表达式为：

$$W(E, T) = \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) \left[ \lambda_1 (e_1)^{v_1} + \lambda_i (e_i)^{v_i} + \lambda_n (e_n)^{v_n} \right] + m \quad (5)$$

$$C(E) = \frac{1}{2} \theta_1 (e_1)^2 + \frac{1}{2} \theta_i (e_i)^2 + \frac{1}{2} \theta_n (e_n)^2 + c \quad (6)$$

**定理 2** 在各创新主体努力集  $E$  和合作集  $T$  的作用下，产业技术创新联盟价值链的整体利润函数  $\pi(E, T)$  为：

$$\begin{aligned} \pi(E, T) = & \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) \sum_{i=1}^n \left[ \lambda_i (e_i)^{v_i} \right] - \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{2} \theta_i (e_i)^2 \right] + m - c \\ & + f(p_1, p_2, \dots, p_n) - f(t_1, t_2, \dots, t_n) \end{aligned} \quad (7)$$

证明：在各创新主体努力集  $E$  和合作集  $T$  的作用下，产业技术创新联盟价值链的整体收益函数、成本函数、正效用和负效用分别为  $W(E, T) = \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) \left[ \lambda_1 (e_1)^{v_1} + \lambda_i (e_i)^{v_i} + \lambda_n (e_n)^{v_n} \right] + m$ 、

$C(E) = \frac{1}{2} \theta_1 (e_1)^2 + \frac{1}{2} \theta_i (e_i)^2 + \frac{1}{2} \theta_n (e_n)^2 + c$ 、 $f(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 、 $f(t_1, t_2, \dots, t_n)$ ，代入

$\pi(E, T) = W(E, T) - C(E) + f(p_1, p_2, \dots, p_n) - f(t_1, t_2, \dots, t_n)$  中，则式(7)得证。

一般来说，产业技术创新联盟价值链增值利润由联盟的协调者，即核心企业支配，通过对各创新主体进行合理的利益分配来激励创新主体。在各创新主体努力集  $E$  和合作集  $T$  的作用下，产业技术创新联盟的价值链增值利润为：

$$\pi_0(E, T) = \pi(E, T) - \sum_{i=1}^n \left[ \pi_i(e_i, t_i) \right] \quad (8)$$

### 3.3. 产业技术创新联盟均衡状态决策分析

在产业技术创新联盟各主体有非合作研发和合作研发两种策略。当创新主体选择非合作研发时，其目标是实现自身利益最大化，而创新主体选择合作研发时，其便以追求联盟整体利益最大化为目标，这样联盟将会分别达到 Nash 均衡与 Shapley 均衡状态。

#### 3.3.1. Nash 均衡下最优决策分析

当各创新主体之间选择进行非合作策略时，各方会基于自身角度考量，通过确定自己的最佳努力水平来实现自身利润  $W_i(e_i, t_i)$  的最大化，此时各创新主体的努力水平  $e_i$  为非合作完全竞争纳什均衡解。根据非合作情形下各创新主体的博弈结果，可得定理 3 如下。

**定理 3** 在产业技术创新联盟中，若协调者不对各创新主体进行协调且各主体采取非合作方式，则其最优努力水平为：

$$e_i^1 = \left[ \frac{\beta_i}{k_i \left( t_i \sum_{i=1}^n t_i v_i \right)} \right]^{\frac{1}{v_i-2}} \tag{9}$$

证明：在产业技术创新联盟研发活动中，如果不对各研发主体进行协调，各创新主体往往只追求自身利益的最大化，根据纳什均衡，可得：

$$\frac{\partial \pi_i(e_i, t_i)}{\partial e_i} = k_i \left( t_i \sum_{i=1}^n t_i \right) v_i (e_i)^{v_i-1} - \beta_i e_i \tag{10}$$

令  $\frac{\partial \pi_i(e_i, t_i)}{\partial e_i} = 0$ ，求解得：

$$e_i^1 = \left[ \frac{\beta_i}{k_i v_i \left( t_i \sum_{i=1}^n t_i \right)} \right]^{\frac{1}{v_i-2}}$$

证毕。

基于定理 3，可得到结论 1。

**结论 1** 在产业技术创新联盟中，各创新主体选择非合作的情况下，创新主体  $i$  的最优努力水平  $e_i^1$  取决于努力收益系数  $k_i$ 、收益弹性系数  $v_i$ 、努力成本系数  $\beta_i$  和合作水平  $t_i$ ，且努力收益系数、收益弹性系数、合作水平越大，努力成本系数越小时，最优努力水平越高，反之亦然。

因此，创新主体  $i$  的最优利润函数和此时产业技术创新联盟的利润函数、增值利润函数分别为：

$$\begin{aligned} \pi_i^1(e_i) &= k_i \left( t_i \sum_{i=1}^n t_i \right) \left[ \frac{\beta_i}{k_i v_i \left( t_i \sum_{i=1}^n t_i \right)} \right]^{\frac{v_i}{v_i-2}} - \frac{1}{2} \beta_i \left[ \frac{\beta_i}{k_i v_i \left( t_i \sum_{i=1}^n t_i \right)} \right]^{\frac{2}{v_i-2}} + m_i - c_i \\ &+ f_i(p_1, p_2, \dots, p_n) - f_i(t_1, t_2, \dots, t_n) \end{aligned} \tag{11}$$

$$\pi^1(E, T) = \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) \sum_{i=1}^n \left[ \lambda_i \left( \frac{\beta_i}{k_i v_i t_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{v_i}{v_i-2}} \right] - \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{2} \theta_i \left( \frac{\beta_i}{k_i v_i t_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{2}{v_i-2}} \right] + m - c \quad (12)$$

$$+ f(p_1, p_2, \dots, p_n) - f(t_1, t_2, \dots, t_n)$$

$$\pi_0^1(E, T) = \sum_{i=1}^n \left( \lambda_i \sum_{i=1}^n t_i - k_i t_i \sum_{i=1}^n t_i \right) \left( \frac{\beta_i}{k_i v_i t_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{v_i}{v_i-2}}$$

$$- \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\theta_i - \beta_i) \left( \frac{\beta_i}{k_i v_i t_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{2}{v_i-2}} + m - \sum_{i=1}^n m_i - c + \sum_{i=1}^n c_i \quad (13)$$

$$+ f(p_1, p_2, \dots, p_n) - \sum_{i=1}^n f_i(p_1, p_2, \dots, p_n) - f(t_1, t_2, \dots, t_n) + \sum_{i=1}^n f_i(t_1, t_2, \dots, t_n)$$

但在实际的产业技术创新联盟研发过程中，由于联盟复杂的网络外部性等技术特性，技术产权难以界定以及成果无法转化，单个创新主体不能保证付出努力所带来的收益完全属于自己，最终会导致市场失灵的出现。所以在非合作的完全竞争状态下，单个主体难以实现产业技术研发的成功，各创新主体之间的冲突激烈，使得自己也无法获得理想的预期收益，导致各研发主体的积极性不高，实际的努力水平也比较低，无法达到  $e_i^1$ 。基于创新主体理性人的假设，为了防止上述情况的发生，各创新主体会在没有超主体协调的情况下自发地进行不完全合作以降低完全竞争冲突带来的不良结果。

### 3.3.2. Shapley 均衡下最优决策分析

在产业技术创新联盟下，为了追求得到更多的利润，各创新主体往往会进行合作，在合作状态下，各创新主体首先会考虑自己以何种努力水平来最大化联盟的整体利润  $\pi(E, T)$ 。根据合作情形下各创新主体的博弈结果，可得定理 4 如下。

**定理 4** 在产业技术创新联盟中，当创新主体选择合作的研发策略时，其最优努力水平满足

$$e_i^* = \left( \frac{\theta_i}{\lambda_i v_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{1}{v_i-2}} \quad (14)$$

**证明：**当产业技术创新联盟整体利润达到最大时，根据联盟整体利润函数  $\pi(E, T)$ ，有

$$\frac{\partial \pi(E, T)}{\partial e_i} = \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) \left[ \lambda_i v_i (e_i)^{v_i-1} \right] - \theta_i e_i \quad (15)$$

令  $\frac{\partial \pi(E, T)}{\partial e_i} = 0$ ，可得创新主体的最优努力水平稳定点为

$$e_i^* = \left( \frac{\theta_i}{\lambda_i v_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{1}{v_i-2}} \tag{16}$$

则此稳定点的二阶偏导为

$$\pi^{(2)}(E, T) = \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) \left[ \lambda_i v_i (v_i - 1) (e_i)^{v_i-2} \right] - \theta_i$$

由于  $0 < v_i < 1$ ,  $0 < t_i \leq 1$ ,  $\lambda_i > 0$ ,  $\theta_i > 0$ , 所以恒有  $\pi_i^{(2)}(e_i) < 0$  成立, 即联盟整体利润函数  $\pi(E, T)$  在

稳定点  $\left[ \left( \frac{\theta_1}{\lambda_1 v_1 \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{1}{v_1-2}}, \left( \frac{\theta_i}{\lambda_i v_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{1}{v_i-2}}, \left( \frac{\theta_n}{\lambda_n v_n \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{1}{v_n-2}} \right]$  处取得最大值。

基于定理 4, 可得结论 2。

**结论 2** 在产业技术创新联盟中, 各创新主体在选择合作的情况下, 创新主体  $i$  的最优努力水平  $e_i^*$  取决于合作收益系数  $\lambda_i$ 、收益弹性系数  $v_i$ 、合作成本系数  $\theta_i$ 、合作水平  $t_i$ , 且合作收益系数、收益弹性系数、合作水平越大, 合作成本系数越小时, 最优努力水平越高, 反之亦然。

因此, 此时各创新主体的利润函数和联盟的整体最优利润函数、增值利润函数分别为:

$$\begin{aligned} \pi_i^*(e_i, t_i) &= k_i \left( t_i \sum_{i=1}^n t_i \right) \left( \frac{\theta_i}{\lambda_i v_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{v_i}{v_i-2}} - \frac{1}{2} \beta_i \left[ \left( \frac{\theta_i}{\lambda_i v_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{2}{v_i-2}} \right] + m_i - c_i \\ &+ f_i(p_1, p_2, \dots, p_n) - f_i(t_1, t_2, \dots, t_n) \end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned} \pi^*(E, T) &= \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) \sum_{i=1}^n \left[ \lambda_i \left( \frac{\theta_i}{\lambda_i v_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{v_i}{v_i-2}} \right] - \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{2} \theta_i \left( \frac{\theta_i}{\lambda_i v_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{2}{v_i-2}} \right] + m - c \\ &+ f(p_1, p_2, \dots, p_n) - f(t_1, t_2, \dots, t_n) \end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned} \pi_0^*(E, T) &= \sum_{i=1}^n \left( \lambda_i \sum_{i=1}^n t_i - k_i t_i \sum_{i=1}^n t_i \right) \left( \frac{\theta_i}{\lambda_i v_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{v_i}{v_i-2}} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\theta_i - \beta_i) \left( \frac{\theta_i}{\lambda_i v_i \sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{2}{v_i-2}} \\ &+ m - \sum_{i=1}^n m_i - c + \sum_{i=1}^n c_i + f(p_1, p_2, \dots, p_n) - \sum_{i=1}^n f_i(p_1, p_2, \dots, p_n) \\ &- f(t_1, t_2, \dots, t_n) + \sum_{i=1}^n f_i(t_1, t_2, \dots, t_n) \end{aligned} \tag{19}$$

由于  $0 < \theta_i < \beta_i$ ,  $\lambda_i > k_i > 0$ ,  $0 < t_i \leq 1$ ,  $0 < v_i < 1$ , 经计算可得  $e_i^* > e_i^1$ ,  $\pi_i^*(e_i, t_i) < \pi_i^1(e_i, t_i)$ ,  $\pi^*(E, T) > \pi^1(E, T)$ , 即相比于 Nash 均衡状态, 各创新主体需要付出更多的努力水平才能达到 Shapley

均衡下的最优努力水平，此时联盟整体价值链可以创造出更多的利益，但各创新主体所获得利益均小于非合作状态下的最优利益。由于各创新主体是理性的，其便会以自身利益最大化为目标，优先选择投入  $e_i^1$  的努力水平来保证自身利益不受损失，所以此时联盟达到的均衡是不稳定的，不能实现帕累托效率最优，无法使联盟长久地运行下去。因此，主导企业需要通过协调利润分配的方式来提高各创新主体的满意程度和努力积极性，使联盟整体利润达到最大的同时各创新主体也能获得比非合作状态下更多的利润，帮助联盟合作达到良性循环。

### 3.4. 产业技术创新联盟利益分配机制设计

通过上述分析可知，在合作情形下，联盟整体利润大于非合作情形，但各创新主体的利润小于非合作情形，这时就产生了个人利益与联盟利益之间的冲突。而联盟要想保持长期的稳定和高效，其本质要保证整个联盟的利益最大化，因此，为了实现联盟的长期稳定合作和可持续发展，主导企业将作为超级决策者利用其优势地位、信息和能力对其余研发主体的决策活动进行协调，通过合理的利益分配机制将联盟增值利润进行分配，提高各主体的满意度，考虑更加公平合理的利益分配方案，最终使整个联盟达到一种介于 Nash 均衡和 Shapley 均衡的均衡状态。

#### 3.4.1. 基于满意度最大化的利益初分配模型

当各主体所得利益大于非合作状态下的最优利益时，主体才会更倾向于合作状态，通过合作实现各主体利益增加且价值链利润增值时，才表明合作状态有利于整个联盟的发展。考虑到创新主体的实际分配系数高于最低分配系数的程度越大，成员满意度越高，此时可以构建一个基于各主体重要程度的分配系数偏差最大化的优化模型求解协商利益分配系数，具体模型如下：

$$\begin{aligned} & \max \prod_{i=1}^n [\Delta x_i + \pi_i^*(e_i, t_i) - \pi_i^1(e_i, t_i)]^{w_i} \\ & s.t. \begin{cases} x_i \geq \pi_i^1(e_i, t_i) - \pi_i^*(e_i, t_i) \\ \sum_{i=1}^n x_i = \pi_0^*(E, T) \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ 0 < w_i < 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (20)$$

其中  $w_i$  为各主体重要程度。设  $n$  为联盟中成员的节点数量， $\rho_i$  为节点  $i$  的连接度，我们以

$w_i = \rho_i / \sum_{i=1}^n \rho_i$  作为联盟各主体重要程度的测度指标。基于上面的优化模型可以得到协商后各主体得到的利益分配集合  $\Delta X = \{\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n\}$ 。

#### 3.4.2. 考虑风险补偿的利益再分配模型

在合作过程中，参与协同创新活动的各主体理应遵循“利益共享，风险共担”的原则。但在实际合作过程中，各创新主体的风险偏好并不完全相同，且由于信息、重要程度等差异在研发过程中承担的风险大小也不均等。为了符合高风险高回报的原则，通过设计合理的风险补偿机制，对各主体的利益进行再分配，从而使得联盟利益分配机制更加公平合理。

设有  $m$  种方法可计算出各主体在协同创新过程中的风险因子，用第  $j$  种方法计算得到的风险因子为  $y_j = (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jn})$ ，决策矩阵  $Y = [y_{ji}]_{m \times n}$ ，其中  $y_{ji}$  表示用第  $j$  种方法计算得出的第  $i$  个创新主体的风险因子。首先对  $y_{ji}$  作规范化处理，可得：

$$d_{ji} = \frac{y_{ji}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m y_{ji}^2}} \tag{21}$$

记为  $D = [d_{ji}]_{m \times n}$ 。

设各创新主体的风险权重向量  $\partial = (\partial_1, \partial_2, \dots, \partial_n)$ ，记

$$R = [r_{ji}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} d_{11}\partial_1 & d_{12}\partial_2 & \dots & d_{1n}\partial_n \\ d_{21}\partial_1 & d_{22}\partial_2 & \dots & d_{2n}\partial_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1}\partial_1 & d_{m2}\partial_2 & \dots & d_{mn}\partial_n \end{bmatrix} \tag{22}$$

令各创新主体的理想解为  $S^+ = (S_i^+ | i=1, 2, \dots, n)$ ，则

$$S^+ = \begin{cases} \max(r_{ji}), \text{第}i\text{个参与者为风险偏好型}, 1 \leq j \leq m, 1 \leq i \leq n \\ \min(r_{ji}), \text{第}i\text{个参与者为风险厌恶型}, 1 \leq j \leq m, 1 \leq i \leq n \end{cases}$$

为方便计算，将坐标原点平移至理想解点。则平移后的矩阵  $T = [t_{ji}]_{m \times n}$ ，且

$$t_{ji} = r_{ji} - S_j^+ = (d_{ji} - d_j^+) \partial_i \tag{23}$$

平移后的理想解为  $(0, 0, \dots, 0)$ ，则此时负理想解为：

$$S_i^- = t_{ai} = d_{ai} \partial_i, \text{且满足 } |t_{ai}| \geq |t_{ji}|, \text{ 或 } |d_{ai}| \geq |d_{ji} - d_j^+|, \text{ 其中}, 1 \leq a \leq m。$$

对于风险因子方案而言，理想解与负理想解之间的距离是常数，所以可得风险因子方案与理想解的垂面距离  $P_j = \sum_{i=1}^n S_i^- t_{ji}$ ，可用  $P_j$  表示参与者对第  $j$  种方法计算的风险因子的加权满意度， $P_j$  越小，意味着各主体的加权满意度越大。因此，可构建模型如下：

$$\begin{aligned} \min \sum_{j=1}^m P_j &= \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n S_i^- t_{ji} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n d_{ai} (d_{ji} - d_j^+) \partial_i^2 \\ \text{s.t.} &\begin{cases} \sum_{i=1}^n \partial_i = 1 \\ \partial_i > 0 \\ i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \tag{24}$$

利用拉格朗日乘法可得：

$$\frac{1}{\partial_i} = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{\sum_{j=1}^m d_{ai} (d_{ji} - d_j^+)} \right] \times \left[ \sum_{j=1}^m d_{ai} (d_{ji} - d_j^+) \right] \tag{25}$$

根据  $\partial_i$  可计算出  $P_j$ ， $P_j$  越小，则方案的被接受度越高。基于 TOPSIS 思想，可计算出各风险因子方案的权重值为：

$$u_j = \frac{P_{\min}}{P_j}, \partial_{u_j} = \frac{u_j}{\sum_{j=1}^m u_j} \tag{26}$$

最后将正交投影法计算出的各风险因子方案的权重与原始决策方案矩阵相乘，即可得最终的综合风险因子结果为：

$$r_i^* = \sum_{j=1}^m u_j y_{ji} \quad (27)$$

各创新主体实际承担风险与均担风险的差值为：

$$\Delta r_i^* = r_i^* - \frac{1}{n}$$

则修正后各创新主体所得利益为

$$\Delta x_i^* = \Delta x_i + \varphi_1 \Delta r_i^* \pi_0^*(E, T) \quad (28)$$

其中  $\varphi_1$  为超主体对风险承担的补偿系数。

### 3.4.3. 考虑知识贡献的利益最终分配模型

各创新主体在联盟网络之间的知识共享、转移、扩散等行为对于增强各主体创新能力、提高联盟的核心竞争力具有重大作用，因此超主体作为决策者应该拿出一部分资源对成员的知识共享行为进行激励，以鼓励各主体持续参与联盟网络内部的知识共享，贡献自身经验、技能等知识。我们从知识流出和流入两个方向确定单个节点的知识流量，从而衡量主体在合作中参与知识流动的贡献。

设  $h_i$  为主体  $i$  作为知识源节点共享的自身知识量， $g_i$  为主体  $i$  共享知识的价值系数，表示主体共享知识的被接受程度和贡献， $g_i > 1$ 。考虑知识在主体间的双向流动，设  $\alpha_{ji}$  表示主体  $j$  共享给主体  $i$  的知识学习系数， $0 \leq \alpha_{ji} \leq 1$ ，则主体  $i$  在知识网络节点的知识流量  $H_i$  为自身流出知识与其他成员共享流入知识的和，即

$$H_i = g_i h_i + \sum_{j=1}^n \alpha_{ji} g_j h_j \quad (29)$$

各个节点流量之和即为网络的总知识流量  $H$ ，为：

$$H = g_i h_i (\alpha + I_n) = (g_1 h_1, g_2 h_2, \dots, g_n h_n) \begin{bmatrix} 1 + \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & 1 + \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \cdots & 1 + \alpha_{nn} \end{bmatrix} \quad (30)$$

成员的知识流出一方面包括该成员的知识共享量，即流入网络的知识流量；另一方面还包括被其他成员有效学习和吸收的知识量，即流入节点的知识量。这两方面知识流量的和即为成员在知识流动中的贡献，根据式(29)行向量可计算得到各成员的知识流动贡献为：

$$H_i^* = g_i h_i \left( 1 + \sum_{j=1}^n \alpha_{ji} \right) \quad (31)$$

则各主体实际知识流动贡献比例为

$$\partial_{H_i^*} = \frac{H_i^*}{\sum_{i=1}^n H_i^*} \quad (32)$$

各主体实际知识流动贡献比例与平均比例之间的差值为

$$\Delta \partial_{H_i^*} = \partial_{H_i^*} - \frac{1}{n} \quad (33)$$

则修正后的各创新主体所得利益为

$$\Delta x_i^{**} = \Delta x_i^* + \varphi_2 \Delta \partial_{H_i^*} \pi_0^*(E, T) \quad (34)$$

其中  $\varphi_2$  为超主体对知识贡献的补偿系数。

故经协调者进行分配后，产业技术创新联盟中各创新主体所获得最终利益集合为

$$Z = \{z_1, \dots, z_i, \dots, z_n\} \quad (35)$$

其中各创新主体所获得的最终利益  $z_i = \pi_i^* + \Delta x_i^{**}$ 。

#### 4. 案例分析

在产业技术创新联盟中由于各创新主体的目标和诉求不同，直接影响到联盟的协同创新效率与稳定运行，需要设计合理的利益分配机制来提高产业技术创新联盟的协同效率，促使各创新主体在研发过程中投入更多的努力水平。我们以苏州市创新联合体为例，来验证本文所构建利益分配机制的合理性。2022年7月，首批苏州市创新联合体发布，主要目标是支持行业龙头企业联合产业链上下游企业和高校、科研院所等创新资源，开展关键技术攻关、共建共享创新平台、集聚高层次人才，解决一些国家急需的“卡脖子”产品研发生产问题。其中，苏州市海洋信息技术创新联合体由江苏亨通光电股份有限公司牵头，联合10家产业链上下游企业、科研机构等组成，采用“企业+联盟”的创新组织方式，发挥成员单位各自研发应用优势，推动我国海洋信息产业发展，抢占数字经济时代新一代信息技术与产业变革、融合发展的制高点。

考虑到信息技术研发的特殊性和保密性，我们对提出的利益分配机制进行数值模拟仿真。不失一般性，我们将此创新联合体中的行为类似主体进行合并，可以假设创新联合体中有一个超级决策者(江苏亨通光电股份有限公司)和四个一般决策者(产业链企业、高校、科研机构、中介机构)，分别记为1, 2, 3, 4, 5。在江苏亨通光电股份有限公司召集各方合作之前，根据以往创新联合体合作项目经验，结合实际合作情况和专家打分，整理得到各创新主体的相关参数，如表1所示。

**Table 1.** Relevant parameters of each innovation subject

**表 1.** 各创新主体的相关参数

利益主体	相关参数								正效用	负效用
	$k_i$	$\beta_i$	$\lambda_i$	$\theta_i$	$v_i$	$t_i$	$m_i$	$c_i$		
1	6	32	24	24	0.5	0.35	16	5	1.00	0.80
2	8	36	26	28	0.5	0.30	16	3	1.00	0.90
3	4	20	14	16	0.5	0.25	13	7	0.95	0.55
4	5	24	20	20	0.5	0.50	13	5	1.20	0.70
5	10	44	11	13	0.5	0.40	20	4	1.25	0.95
价值链							$m = 80$	$c = 20$	4.75	3.50

由表1的相关参数，代入基本利润模型可知各创新主体在无协调情形下，各创新主体在最优努力水平下的最优收益和整个联盟价值链的收益如表2所示。此时为了获得更多增值利润，江苏亨通光电股份

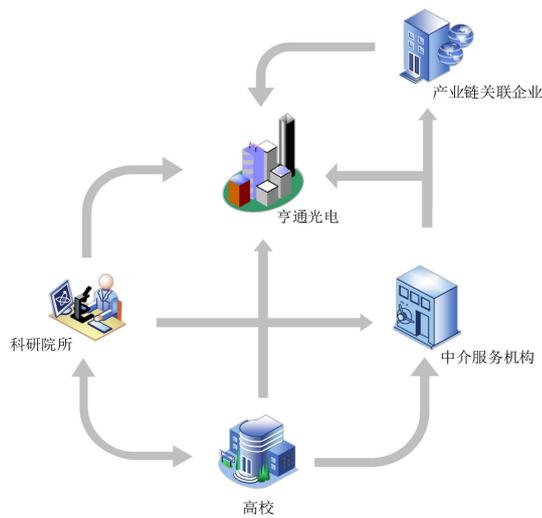
有限公司作为主导企业在研发过程中对各创新主体进行协调，协调后整个联盟价值链的最优利益、各创新主体的最优努力水平和收益如表 2 所示。

**Table 2.** Comparison of the interests of various innovation entities under different circumstances  
**表 2.** 不同情形下各创新主体的利益比较

创新主体	无协调情形下		超主体协调情形下		
	最优努力	各方利益	最优努力	分配前各方利益	分配后各方利益
1	0.1517	12.3041	0.9322	0.9457	65.0799
2	0.1533	14.3684	0.8872	3.0008	25.1414
3	0.1265	6.8802	0.8528	0.7896	23.1652
4	0.2064	10.0332	0.9322	2.4168	26.4341
5	0.1885	18.6443	0.8339	7.5763	42.8556
价值链		128.9241		182.6762	182.6762
增值利润		66.6939		167.9470	

#### 4.1. 基于满意度最大化的利益初分配

此时江苏亨通光电股份有限公司为了确保联盟各成员之间的合作能够长期稳定地进行，需要根据各主体在联盟中的重要程度和成员满意度最大化来对合作产生的增值利润进行初次分配，来使各主体获得的利益能够大于非合作时的利益，同时保证分配的公平性，从而对各主体的创新研发活动起到激励作用。江苏亨通光电股份有限公司作为联盟的核心，是科研成果和技术实现经济效益的最终和直接主体，科研机构、高校、供应链上下游企业、中介机构等均以该龙头企业为中心，通过与企业开展长期合作，力求实现自身收益最大化；科研机构和高校相互合作、相互依赖，共同负责科技研发工作；而科技成果的转化和应用主要由学研机构通过中介机构传递给企业，从而实现经济效益和市场开发。各联盟成员之间的关系如图 2 所示。



**Figure 2.** Member relationship network of Suzhou Marine Information Technology Innovation Consortium  
**图 2.** 苏州市海洋信息技术创新联合体各成员关系网络图

由图 2 可得在创新联合体关系网络中各创新主体的节点连接度  $r_i = (4, 1, 1, 1, 2)$ ，将其归一化处理并计算出其重要程度  $w_i = \left(\frac{4}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{2}{9}\right)$ 。利用式(20)，构建苏州市海洋海洋技术创新联合体的利益分配模型：

$$\begin{aligned} & \max (\Delta x_1 + 0.9457 - 12.3041)^{\frac{4}{9}} * (\Delta x_2 + 3.0008 - 14.3684)^{\frac{1}{9}} * (\Delta x_3 + 0.7896 - 6.8802)^{\frac{1}{9}} \\ & * (\Delta x_4 + 2.4168 - 10.0332)^{\frac{1}{9}} * (\Delta x_5 + 7.5763 - 18.6443)^{\frac{2}{9}} \\ & s.t. \begin{cases} \Delta x_1 \geq 11.3584 \\ \Delta x_2 \geq 11.3676 \\ \Delta x_3 \geq 6.0906 \\ \Delta x_4 \geq 7.6164 \\ \Delta x_5 \geq 11.0680 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 167.9470 \end{cases} \end{aligned}$$

利用 Matlab 求解以上优化模型，可得各创新主体协商分配后的利益集合  $\Delta X = \{\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \Delta x_4, \Delta x_5\} = \{64.8900, 24.7505, 19.4735, 20.9993, 37.8338\}$ 。

#### 4.2. 考虑风险补偿的利益再分配

假设各成员承担的风险均等，联盟中各主体应承担的风险  $R_i = \frac{1}{5}$ ，但这与实际情况并非完全吻合。在实际研发过程中各创新主体在研发过程中所面临的风险一般包括市场风险、技术风险、合作风险、运营风险等，各创新主体均有权选择自己认为合理的专家组对联盟的风险因子进行评估。基于以往类似项目的经验和各专家组综合评判，分别采用群组决策特征根法、协方差法、相对风险法、信息熵法对各主体在协同创新过程中承担的风险因子进行计算，共可得到四种方案，如表 3 所示：

**Table 3.** Risk factor calculations by expert groups  
**表 3.** 各专家组计算风险因子方案

风险因子计算方案	主体 1	主体 2	主体 3	主体 4	主体 5
群组决策特征根法	0.1389	0.2408	0.1393	0.2422	0.2388
协方差法	0.1755	0.2894	0.1513	0.1525	0.2312
相对风险法	0.2406	0.2914	0.1992	0.1108	0.1579
信息熵法	0.2664	0.1936	0.2161	0.2120	0.1119

根据上表的各计算方案所得的主体风险分配值，采用正交投影法将各方案进行综合，可得到一个考虑所有风险方案的各创新主体实际承担的风险比例，即综合风险因子。由表 3 可得各风险方案的决策矩阵为

$$Y = (y_{ji})_{4 \times 5} = \begin{bmatrix} 0.1389 & 0.2408 & 0.1393 & 0.2422 & 0.2388 \\ 0.1755 & 0.2894 & 0.1513 & 0.1525 & 0.2312 \\ 0.2406 & 0.2914 & 0.1992 & 0.1108 & 0.1579 \\ 0.2664 & 0.1936 & 0.2161 & 0.2120 & 0.1119 \end{bmatrix}$$

将决策矩阵进行规范化处理后得

$$D = (d_{ji})_{4 \times 5} = \begin{bmatrix} 0.3283 & 0.4685 & 0.3883 & 0.6493 & 0.6209 \\ 0.4149 & 0.5631 & 0.4218 & 0.4088 & 0.6011 \\ 0.5688 & 0.5670 & 0.5553 & 0.2970 & 0.4105 \\ 0.6297 & 0.3767 & 0.6024 & 0.5683 & 0.2909 \end{bmatrix}$$

假设主体 1、2、5 为风险厌恶型，主体 3、4 为风险偏好型，由加权矩阵  $R$  可得各主体的正理想解为：

$$S^+ = (0.3283\partial_1, 0.3767\partial_2, 0.6024\partial_3, 0.6493\partial_4, 0.2909\partial_5)$$

将坐标原点平移至理想解后的矩阵为

$$T = (t_{ji})_{4 \times 5} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0918\partial_2 & -0.2141\partial_3 & 0 & 0.3300\partial_5 \\ 0.0866\partial_1 & 0.1864\partial_2 & -0.1806\partial_3 & -0.2405\partial_4 & 0.3102\partial_5 \\ 0.2405\partial_1 & 0.1903\partial_2 & -0.0471\partial_3 & -0.3523\partial_4 & 0.1196\partial_5 \\ 0.3014\partial_1 & 0 & 0 & -0.0810\partial_4 & 0 \end{bmatrix}$$

因此平移后的负理想解  $S^- = (0.3014\partial_1, 0.1903\partial_2, -0.2141\partial_3, -0.3523\partial_4, 0.3300\partial_5)$

由式(23)可得

$$d_{k1} = 0.3014, d_{k2} = 0.1903, d_{k3} = -0.2141, d_{k4} = -0.3523, d_{k5} = 0.3300$$

由式(24)和(25)可得

$$\partial_i = (0.1497, 0.3180, 0.2998, 0.1194, 0.1131)$$

$$P_j = (0.0073, 0.0102, 0.0085, 0.0024)$$

应用式(26)得各方案的相对权重为

$$\partial_{u_j} = (0.1800, 0.1289, 0.1547, 0.5364)$$

由公式(27)求得各主体最终的综合风险因子为

$$r_i^* = (0.2278, 0.2296, 0.1913, 0.1941, 0.1572)$$

假设风险补偿系数  $\rho_1 = 0.3$ ，则根据公式(28)可计算出修正后的利益分配集合为

$$\Delta X^* = \{\Delta x_1^*, \Delta x_2^*, \dots, \Delta x_n^*\} = \{66.2907, 26.2419, 19.0351, 20.7020, 35.6773\}$$

### 4.3. 考虑知识贡献的利益最终分配

对各主体的知识贡献进行考量，联盟成员和专家根据以往项目经验和实际情况确定的各主体共享知识量为  $h_i = (20, 18, 30, 25, 24)$ ，知识内容价值  $g_i = \{1.8, 1.4, 1.7, 2.1, 1.6\}$ ，各主体之间的知识学习系数矩阵为

$$\alpha = (\alpha_{ji})_{5 \times 5} = \begin{bmatrix} 0.23 & 0.21 & 0.31 & 0.19 & 0.26 \\ 0.35 & 0.27 & 0.25 & 0.28 & 0.22 \\ 0.29 & 0.38 & 0.26 & 0.31 & 0.39 \\ 0.26 & 0.31 & 0.32 & 0.29 & 0.37 \\ 0.27 & 0.39 & 0.27 & 0.28 & 0.31 \end{bmatrix}$$

由式(31)计算各主体在知识流动过程中的贡献为

$$H_i^* = \{79.200, 59.724, 134.130, 133.875, 96.768\}$$

根据式(32)可得各主体在知识流动中的贡献比例为

$$\partial_{H_i^*} = \{0.1572, 0.1186, 0.2663, 0.2658, 0.1921\}$$

假设知识贡献补偿系数  $\varphi_2 = 0.3$ ，则由式(34)可计算出修正后各主体的最终利益分配集合为

$$\Delta X^{**} = \{\Delta x_1^{**}, \Delta x_2^{**}, \dots, \Delta x_n^{**}\} = \{64.1342, 22.1406, 22.3756, 24.0173, 35.2793\}$$

故经协调者进行分配后，产业技术创新联盟中各创新主体所获得利益集合为

$$Z = \{z_1, \dots, z_i, \dots, z_n\} = \{65.0799, 25.1414, 23.1652, 26.4341, 42.8556\}$$

由表 2 的计算结果可知，在协调状态下，联盟价值链可以产出比无协调时更多的总利润和增值利润，但各创新主体的应得利益少于无协调时的个人利益，经过超主体对增值利润进行多阶段分配后，各方努力水平均有所提高，各创新主体的收益都大于无协调时的收益。且在分配过程中充分考虑了各创新主体的努力水平、合作水平、重要程度、承担风险、知识贡献等因素，在保证分配过程公平的同时对各主体的研发活动起到了激励作用，促使其在之后的研发创新活动中投入更高的努力水平和风险承担，以更好地促进科技成果研发、转化等创新活动。

#### 4.4. 灵敏度分析

为进一步探讨构建利益分配机制的有效性与合理性，我们根据表 1 相关参数，将各主体的努力水平对个人和联盟整体利润的影响程度进行灵敏度分析，使用 Matlab 14.0 绘制了非合作与合作情形下各创新主体的努力水平  $e_i$  对其个体利润  $W_i$  和联盟整体利润  $W$  影响程度的函数图像。令  $e_i$  在 (0,1) 之间变动，可得非合作和合作情形下各创新主体努力水平与其个体利润  $W_i$  和联盟整体利润  $W$  的函数关系图像如图 3、图 4 所示：

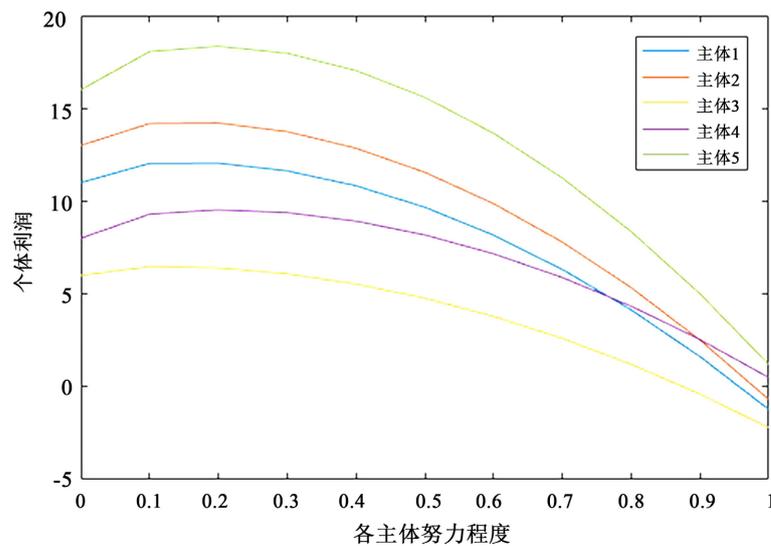
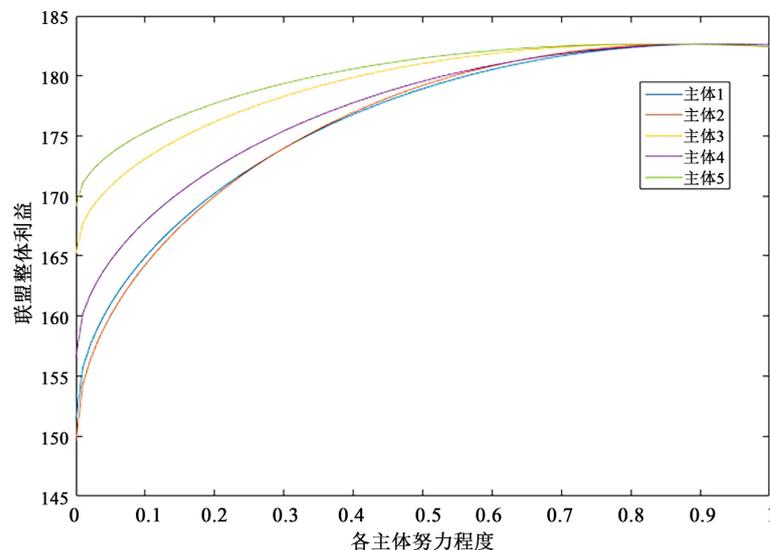


Figure 3. The influence of each subject's effort level on individual profit  
图 3. 各主体努力水平对个体利润的影响

1) 由图 3 可知，随着主体努力水平的提高，其利润也在相应增加，但由于边际成本的提高，当努力水平达到一定程度时，各主体利润达到最优，此后利润便不再随着努力水平的提高而增加，而是呈现出逐渐递减的趋势，之后利润为负值并继续保持下降趋势。



**Figure 4.** The influence of each subject's effort level on the overall profit of the alliance  
**图 4.** 各主体努力水平对联盟整体利润的影响

2) 由图 4 可知, 在合作状态下, 当其他主体均为最优努力水平时, 随着剩余主体努力水平的提高, 联盟整体利润随之增加, 促使各主体积极投入更多的努力, 最终努力水平在某点达到最优, 此时联盟整体利润达到最大。此后利润便不再随着努力水平的提高而增加, 而是呈现出逐渐递减的趋势。

由模型和案例分析可知, 所设计的利益分配机制能够在保证各创新主体利益不受损的情况下, 主导企业通过分配联盟增值利润的方式来调动各创新主体的积极性, 促使各创新主体投入更多的努力水平, 以实现整个产业技术创新联盟的利益最大化。所构建的利益分配机制的优势在于同时考虑了风险承担和知识贡献在利益分配过程中的影响, 对各创新主体进行了相应的利益补偿, 使得利益分配过程更为公平合理。

## 5. 结论

本文针对产业技术创新联盟的利益分配问题, 利用博弈论和优化模型, 构建了产业技术创新联盟基本利润模型, 考虑到各主体的风险承担和知识贡献是影响利益分配的重要因素, 设计了产业技术创新联盟的利益分配机制。通过模型和案例分析, 结果表明: 1) 在实行利益分配后, 各创新主体与联盟整体利益均大于非合作情形下, 各主体努力水平相较于非合作情形得到显著提高, 且风险承担比例和知识贡献比例均与各创新主体利益呈正相关。各创新主体积极进行风险承担与知识贡献, 可以分得更多的联盟增值利润, 同时也有利于促进联盟的发展。2) 所设计的利益分配机制能够有效描述和解决产业技术创新联盟的利益分配问题, 调动各创新主体投入更多的努力水平, 有利于提高各主体协同创新效率, 保证产业技术创新联盟的平稳运行。

但是模型也存在不足, 如本研究假设各主体均为理性人, 缺乏对各主体过度自信等非理性行为的考虑, 这也是接下来需要努力的方向。

## 参考文献

- [1] 殷群, 贾玲艳. 中美日产业技术创新联盟三重驱动分析[J]. 中国软科学, 2012(9): 80-89.
- [2] 王发明, 杨文骏. 产业技术创新联盟共生演化过程研究: 领导企业视角[J]. 科技进步与对策, 2017, 34(5): 58-65.
- [3] 邸晓燕, 张赤东. 产业技术创新战略联盟的性质、分类与政府支持[J]. 科技进步与对策, 2011, 28(9): 59-64.

- [4] Wang, C., Cen, Y., Sun, R. and Ying, H. (2021) Optimal Distribution of Profit and Leadership for a Sustainable Collaborative R&D Projects. *Journal of Cleaner Production*, **313**, Article ID: 127874. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127874>
- [5] Guo, S., Wang, J. and Xiong, H. (2022) The Influence of Effort Level on Profit Distribution Strategies in IPD Projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, **30**, 4099-4119. <https://doi.org/10.1108/ecam-02-2022-0107>
- [6] 刘勇. 利益分配视角下产学研协同创新激励机制[J]. 系统管理学报, 2016, 25(6): 984-992.
- [7] Du, J., Wu, H. and Zhu, L. (2018) Influencing Factors on Profit Distribution of Public-Private Partnership Projects: Private Sector's Perspective. *Advances in Civil Engineering*, **2018**, Article ID: 2143173. <https://doi.org/10.1155/2018/2143173>
- [8] Zhong, Z., Jia, F., Long, W. and Chen, K.Z. (2022) Risk Sharing, Benefit Distribution and Cooperation Longevity: Sustainable Development of Dairy Farmer Cooperatives in China. *International Journal of Agricultural Sustainability*, **20**, 982-997. <https://doi.org/10.1080/14735903.2022.2041229>
- [9] Dai, P., Xu, J. and Li, W. (2022) Research on Profit Distribution of Logistics Alliance Considering Communication Structure and Task Completion Quality. *Processes*, **10**, Article No. 1139.
- [10] Liu, H., Liu, Z., Lai, Y. and Li, L. (2021) Factors Influencing Collaborative Innovation Project Performance: The Case of China. *Sustainability*, **13**, Article No. 7380. <https://doi.org/10.3390/su13137380>
- [11] Lucena, A. and Roper, S. (2016) Absorptive Capacity and Ambidexterity in R&D: Linking Technology Alliance Diversity and Firm Innovation. *European Management Review*, **13**, 159-178. <https://doi.org/10.1111/emre.12074>
- [12] Zhao, J. and Sun, N. (2019) Government Subsidies-Based Profits Distribution Pattern Analysis in Closed-Loop Supply Chain Using Game Theory. *Neural Computing and Applications*, **32**, 1715-1724. <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04245-2>
- [13] Li, L., Wang, X., Lin, Y., Zhou, F. and Chen, S. (2019) Cooperative Game-Based Profit Allocation for Joint Distribution Alliance under Online Shopping Environment. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, **31**, 302-326. <https://doi.org/10.1108/apjml-02-2018-0050>
- [14] Cabello-Medina, C., Carmona-Lavado, A. and Cuevas-Rodriguez, G. (2020) A Contingency View of Alliance Management Capabilities for Innovation in the Biotech Industry. *BRQ Business Research Quarterly*, **23**. <https://doi.org/10.1177/2340944420901050>
- [15] Chen, K., Zhang, Y., Zhu, G. and Mu, R. (2020) Do Research Institutes Benefit from Their Network Positions in Research Collaboration Networks with Industries Or/and Universities? *Technovation*, **94**, Article ID: 102002. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2017.10.005>
- [16] Hofman, E., Halman, J.I.M. and Song, M. (2016) When to Use Loose or Tight Alliance Networks for Innovation? Empirical Evidence. *Journal of Product Innovation Management*, **34**, 81-100. <https://doi.org/10.1111/jipim.12325>
- [17] Meng, F., Chen, S. and Zhang, Y. (2022) Optimal Strategies and Profit Allocation for Three-Echelon Food Supply Chain in View of Cooperative Games with Cycle Communication Structure. *Information Sciences*, **613**, 524-540. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.08.122>
- [18] Bierly, P.E. and Coombs, E. (2004) Equity Alliance, Stages of Product Development and Alliance Instability. *Journal of Engineering and Technology Management*, No. 12, 191-214.
- [19] Agrawal, A.K. and Yadav, S. (2020) Price and Profit Structuring for Single Manufacturer Multi-Buyer Integrated Inventory Supply Chain under Price-Sensitive Demand Condition. *Computers & Industrial Engineering*, **139**, Article ID: 106208. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106208>
- [20] Hughes-Morgan, M. and Yao, B.E. (2016) Rent Appropriation in Strategic Alliances: A Study of Technical Alliances in Pharmaceutical Industry. *Long Range Planning*, **49**, 186-195. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2015.12.016>
- [21] Han, R. and Yang, M. (2022) Profit Distribution and Stability Analysis of Joint Distribution Alliance Based on Tripartite Evolutionary Game Theory under the Background of Green and Low Carbon. *Environmental Science and Pollution Research*, **29**, 59633-59652.
- [22] Guo, B., Hao, S., Cao, G. and Gao, H. (2021) Profit Distribution of Liner Alliance Based on Shapley Value. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, **41**, 5081-5085. <https://doi.org/10.3233/jifs-189993>
- [23] Song, C. and Wang, Y. (2022) Slot Allocation and Exchange for Container Shipping Alliance under Profit-Sharing Agreement and Uncertain Demand. *Ocean & Coastal Management*, **229**, Article ID: 106335. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106335>
- [24] Wang, X., Li, B., Wang, Y., Lu, H., Zhao, H. and Xue, W. (2022) A Bargaining Game-Based Profit Allocation Method for the Wind-Hydrogen-Storage Combined System. *Applied Energy*, **310**, Article ID: 118472. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118472>
- [25] Hosseini-Motlagh, S., Choi, T., Johari, M. and Nouri-Harzvili, M. (2022) A Profit Surplus Distribution Mechanism for

- 
- Supply Chain Coordination: An Evolutionary Game-Theoretic Analysis. *European Journal of Operational Research*, **301**, 561-575. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.10.059>
- [26] 胡争光, 南剑飞. 产业技术创新战略联盟战略问题研究[J]. 科技进步与对策, 2011, 28(2): 74-77.
- [27] Jiang, X., Wang, L., Cao, B., *et al.* (2021) Benefit Distribution and Stability Analysis of Enterprises' Technological Innovation Cooperation Alliance. *Computers & Industrial Engineering*, **161**, Article ID: 107637.
- [28] Fu, Y. 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)
- [29] Liu, Y. (2016) Incentive Mechanism for Collaborative Innovation of Industry-University from the Benefit Distribution Perspective. *Journal of Systems Management*, **25**, 985-993.
- [30] Liu, Y., Jian, L.R., Zhao, H.H., *et al.* (2015) Profits Distribution Model of University-Industry Collaborative Innovation Value Chain Based on Double Efforts. *R&D Management*, **27**, 24-34.
- [31] Liu, Y., Du, J., Yang, J., *et al.* (2019) An Incentive Mechanism for General Purpose Technologies R&D Based on the Concept of Super-Conflict Equilibrium: Empirical Evidence from Nano Industrial Technology in China. *Technological Forecasting and Social Change*, **147**, 185-197.