

激励视角下经管类项目化校内实训基地的校企演化博弈合作机制研究

——以应用型本科高校为例

王 渝*, 简玉刚

重庆工程学院管理学院, 重庆

收稿日期: 2025年7月30日; 录用日期: 2025年8月28日; 发布日期: 2025年9月5日

摘 要

为揭示应用型本科高校项目化校内实训基地校企合作难以长期稳定的根源, 探寻可推广的解决思路, 以演化博弈模型为基础嵌入 Stackelberg 博弈激励机制, 推导合作稳定阈值。结合遗传算法对激励参数进行全局搜索, 据此进行数值仿真, 结合重庆工程学院数字营销直播实训基地访谈调研数据用于参数映射与情境验证。结果发现, 高校提供激励需覆盖企业成本与利润分成之差方能令合作收敛至双赢; 教师绩效激励对高校合作概率呈显著正弹性; 提升补贴额度或激励比例可将系统演化方向由“高校单边维持”推向“双方合作”。由此表明合作稳定性取决于激励、成本双阈值, 分层激励、成本共担和内部绩效联动是激活企业投入、实现校企共赢的核心机制。

关键词

校企合作, 校内实训基地, 演化博弈, Stackelberg 博弈激励机制, 遗传算法

Incentive-Based Evolutionary Game Analysis of University-Enterprise Cooperation Mechanisms in Project-Based Intra-School Training Bases of Economics and Management

—Evidence from Application-Oriented Undergraduate Colleges

Yu Wang*, Yugang Jian

School of Management, Chongqing Institute of Engineering, Chongqing

*通讯作者。

文章引用: 王渝, 简玉刚. 激励视角下经管类项目化校内实训基地的校企演化博弈合作机制研究[J]. 教育进展, 2025, 15(9): 522-536. DOI: 10.12677/ae.2025.1591704

Received: Jul. 30th, 2025; accepted: Aug. 28th, 2025; published: Sep. 5th, 2025

Abstract

To uncover why university-enterprise cooperation in project-based intra-school training bases at application-oriented undergraduate colleges fails to remain stable in the long run and to propose a transferable solution, this study embeds a Stackelberg game-based incentive mechanism within an evolutionary-game framework and derives the threshold conditions for cooperative stability. A genetic algorithm is employed for global search of the optimal incentive parameters, and numerical simulations are subsequently performed. Parameter calibration and scenario validation draw on interview data from the Digital-Marketing Live-Streaming Training Base of Chongqing Institute of Engineering, while the model itself retains general applicability. The results show that: 1) collaboration converges to a win-win equilibrium only when the incentives provided by the university cover the gap between the enterprise's cost and its profit share; 2) teacher performance incentives exert a significant positive elasticity on the university's cooperation probability; and 3) increasing either the subsidy amount or the incentive ratio shifts the evolutionary trajectory from "unilateral university maintenance" toward "bilateral cooperation." These findings indicate that cooperation stability hinges on dual thresholds for incentives and costs; hierarchical incentives, cost sharing, and internal performance linkages are therefore core mechanisms for mobilizing enterprise engagement and achieving sustainable university-enterprise synergy.

Keywords

University-Enterprise Cooperation, Intra-School Training Bases, Evolutionary Game, Stackelberg Game-Based Incentive Mechanism, Genetic Algorithm

Copyright © 2025 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

我国产教融合政策发展至今, 倡导校企合作形成“共生性依赖关系”[1]。2018年的全国教育大会明确提出推动职业院校和行业企业形成共生关系, 标志着共生关系概念首次被正式引入校企关系领域。2021年, 中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》提出“推动形成产教良性互动、校企优势互补的发展格局”要求。2023年7月, 教育部发布产教融合共生关系相关建设指南, 针对共生关系建设单位、任务和监测指标提出了具体要求, 推动我国产教融合工作进一步完善激励制度, 促进校企共生关系。

随着高等教育类型结构调整的持续深化, 应用型本科高校在人才培养中愈加重视实践能力的塑造。经管类专业因其理论性与应用性并重的特征, 尤需依托校内实训基地将课程教学与项目实践深度融合。近年来, 校企共建项目化校内实训基地成为提升学生实践应用和就业能力的重要途径。然而, 在实际运行中, 校企双方对产教融合的认识深度不够、共生关系的理念没有形成、协调推进机制不够健全[2], 企业参与积极性不高、项目更新机制滞后、学校与企业投入不均等问题普遍存在, 影响了实训基地的可持续发展和协同育人效果。以重庆工程学院管理学院的数字营销直播实训基地为例, 学校和企业虽已建立合作机制, 但在资源投入、人才共培、项目共管、师资互培、成果共享、就业共促等方面仍存在协调成本

高、利益分配不清晰等问题,反映出当前校企合作缺乏有效激励与约束机制,双方在资源投入上的激励不足、合作收益共享模糊,合作行为面临典型的博弈困境,难以实现合作稳定性。

鉴此,本研究以演化博弈为理论工具,构建校企双边合作策略演变模型,引入 Stackelberg 博弈激励机制进行数学推导,分析在不同激励参数下合作稳定性条件。同时,结合遗传算法进行策略演化仿真,观察激励水平对合作率演进路径的影响,并以数字营销直播基地的典型情境进行参数映射与机制验证。与现有文献多依赖实证研究不同,本研究通过纯理论建模与仿真模拟方式,避免数据采集依赖,突出方法上的可推广性;同时将演化博弈模型引入经管类校内实训基地合作机制研究场景,研究结果为应用型高校项目化校内实训基地提升校企合作效率、优化协同育人机制提供理论支撑和决策参考。

2. 文献综述

2.1. 博弈论在产教融合中的研究现状

博弈论为产教融合中多主体互动关系的解析提供了系统性框架,相关研究围绕主体范围拓展、策略选择逻辑及均衡实现机制展开。

从博弈主体范围来看,有的研究聚焦校企双方博弈,指出校企因目标差异(学校追求育人质量,企业追求经济利益)存在信息不对称、权利不对等问题,易陷入“个体理性而集体非理性”的困境[3]。三方演化博弈模型则纳入政府主体,分析其在调节校企利益中的作用,发现政府策略稳定性取决于校企合作带来的实际收益,而学校和合作企业的合作意愿更多受非政府奖励及成本收益比影响[4]。四方演化博弈模型将政府细分为中央与地方政府,揭示二者在政策执行、奖惩力度上的动态关系,强调利益是驱动四方合作的核心因素[5]。

从策略选择来看,生产性实训基地的博弈分析显示,利益分配机制的合理性直接影响合作持续性。生产性实训基地的校企合作需通过成本共担与收益匹配机制避免“搭便车”行为,以保障合作持续性[6]。高职教育校企合作中,双方利益感知、心理预期与决策行为的动态互动,是实现复杂利益关系整合与博弈均衡的关键[7]。通过构建信息共享平台缓解信息不对称,可降低策略互动中的交易成本[8]。

从均衡实现机制来看,博弈论研究揭示出,产教融合的可持续性依赖“利益-成本”的动态平衡。当校企合作收益大于各自成本且建立风险共担机制时,合作稳定性显著提升[9]。而制度环境对博弈均衡的影响研究表明,完善法规体系(如明确政府、校企的权责边界)和财税激励政策,能推动短期博弈向长效合作转化[5][8]。创新驱动背景下,博弈策略需进一步关注技术转化收益、市场认可等非政府奖励对合作稳定性的长期影响[7][10]。

现有研究较为系统地揭示了产教融合中多元主体的策略互动与合作机制,初步构建了校企乃至政府多方参与的博弈模型体系。然而,多数研究侧重静态博弈分析,缺乏对策略演化过程的动态模拟与实证验证,难以反映现实合作中行为调整与反馈机制的复杂性。同时,部分模型对制度环境与非经济激励因素的整合仍显不足,尚未形成对校企合作长期稳定性的系统解释框架。

2.2. 动态仿真方法在产教融合机制中的研究现状

动态仿真方法为解析产教融合中多主体互动、资源优化及系统演化提供了量化工具,相关研究主要围绕遗传算法优化、系统动力学仿真及演化博弈模拟展开。

在遗传算法优化方面,研究认为遗传算法及其改进形式是资源配置与平台优化的核心工具。在课程设计与教学资源分配中,研究者构建数学模型,通过遗传算法求解多约束下的优化目标,如融入企业实践课程比例、企业导师参与度等要素,实现资源高效配置[11];在排课系统设计中,通过种群初始化、适应性评估及交叉变异操作,动态优化校企合作中的课程安排,提升调度效率[12];改进遗传算法(IGA)则

被用于个性化实践教学平台建设, 模拟资源调度与学习路径优化的动态过程, 其资源调度效率较传统方法有所提升, 验证了算法在动态适配中的有效性[13]。

在系统动力学仿真方面, 研究认为系统动力学与多目标优化算法聚焦项目管理与网络演化。针对产教融合实训基地建设, 研究者引入 NSGA-III 算法, 构建工期与鲁棒性双目标模型, 通过多情景模拟(如资源约束、不确定因素干扰), 动态优化项目进度计划, 为复杂工程提供抗干扰方案[14]; 在校企合作创新网络中, 系统动力学模型被用于刻画信任与知识转移的演化关系, Vensim 仿真显示, 信任度呈波动上升趋势且与知识转移量正相关, 揭示了网络互动的动态反馈机制[15]。

演化博弈与仿真方法则关注多主体策略互动。多主体视角下, 演化博弈模型分析政府、学校、企业的激励机制, 模拟策略调整的动态过程, 揭示利益协调对合作稳定性的影响[16]。还有研究通过演化仿真技术, 量化校企深度合作中策略选择的动态收敛过程, 为合作机制优化提供依据[17]。

尽管现有研究已初步运用遗传算法、系统动力学及演化仿真等方法模拟产教融合机制中的资源配置与策略演进过程, 但普遍存在模型构建偏重理论设定、对真实校企合作场景模拟不足的问题, 且多侧重于单一要素(如课程安排、项目进度), 缺乏对合作关系长期演化与动态博弈机制的系统整合。部分研究虽引入仿真平台, 但缺乏对算法性能、策略演化路径及协同稳定机制的深入对比与检验。

2.3. 校内实训基地校企合作问题研究现状

当前校内实训基地在校企合作中的作用逐步显现, 但也暴露出合作深度不够、运行机制不健全等问题。多数研究聚焦于高职院校的实训基地建设, 指出其存在功能定位不清、资源利用率低、与企业需求脱节等困境[18][19]。部分高校在校内建立实训平台以提升学生实践能力, 强调在“产、学、研”协同中形成以学生为中心的能力培养路径, 但缺乏科学有效的评估机制和制度保障[20]。

在校企协同模式方面, 研究指出中小企业尤其是小微企业在参与合作中往往资源有限, 难以长期投入校外基地共建, 合作关系更多停留在提供实习岗位层面[21]。而物业管理等行业领域的调查研究表明, 虽然企业普遍表现出合作意愿, 但其出发点多为“用人导向”, 在人才培养全过程中参与不足, 缺少实质性教学合作与联合开发机制[22]。同时, 合作中还存在责权利不明、沟通机制不稳定等问题, 导致合作可持续性较差[23]。

现有研究较为充分地揭示了校内实训基地在校企合作过程中存在的结构性问题, 如资源整合不足、合作深度不够、制度保障缺失等, 但大多停留在现象层面的归纳和经验对策的提出, 缺乏对合作行为演化逻辑与机制运行效率的动态模拟与实证检验。同时, 关于校企双方博弈行为、资源配置优化及平台运行机制等方面的研究多为定性分析, 尚未形成系统的量化模型。

基于此, 本文拟融合演化博弈与 Stackelberg 博弈激励机制, 构建嵌入遗传算法的动态仿真模型, 模拟应用型本科高校在经管类项目化校内实训基地合作过程中校企双方的策略演化与资源配置路径, 系统揭示合作行为演进机制与激励政策优化逻辑, 为提升合作效率与稳定性提供决策支持。

3. 模型构建与参数映射

3.1. 参与主体、策略与基本假设

为了刻画应用型本科高校经管类项目化校内实训基地的校企合作机制演化过程, 本文将博弈主体界定为高校与企业两个有限理性的决策主体。

3.1.1. 参与主体

该博弈有两个参与主体: 高校与企业。

高校(S): 作为校内实训基地的主要建设方, 目标是提升学生培养质量、促进校内实训基地的资源利用效率与育人成效。高校在校企合作中负责基地建设、场地提供、教学资源配置和管理投入等职责。

企业(E): 作为校内实训基地合作的参与方, 目标是通过投入项目资源、真实业务场景及企业导师参与人才培养, 最终获取人才资源和一定经济效益回报。

3.1.2. 主体的策略选择

高校的策略集合为(合作, 不合作), 具体策略含义如下:

合作策略(S1): 积极投入资源(如场地、人力、资金), 主动推进实训基地建设与校企合作项目落地。
不合作策略(S2): 消极对待基地建设, 投入较少或无实质性投入, 不主动推进合作项目。

企业的策略集合为(合作, 不合作), 具体策略含义如下:

合作策略(E1): 积极提供资源(如导师、资金支持、真实项目), 积极参与实训基地项目合作。不合作策略(E2): 消极对待合作, 投入资源较少或无投入, 不参与具体项目的落地实施。

3.1.3. 模型的基本假设

为了简化分析并体现实际情况, 本模型构建提出以下基本假设:

假设双方都是有限理性的经济人, 即双方在博弈过程中会依据自己的收益情况动态调整合作策略, 不断朝着自身效用最大化的方向进行策略演化; 高校与企业在合作过程中存在信息不对称, 双方不能完全了解对方的真实投入和真实意图; 校企合作中, 任何一方选择“合作”策略, 均需承担一定的合作成本(包括经济成本、人力资源成本和沟通成本); 双方均采用混合策略, 即在每一阶段的博弈过程中, 主体的策略并非单一固定, 而是存在一定概率发生策略转换; 校企合作的成功实施能为双方带来额外的协同收益, 合作双方分享该收益, 具体收益大小取决于双方合作程度与资源投入水平; 双方博弈进行多阶段重复博弈, 每一阶段主体都可依据上一阶段的博弈收益情况进行策略调整; 高校在合作初期可考虑制定并实施一定的激励政策(如资金补贴、资源共享等), 假设高校为先行动主体(Stackelberg 博弈中的领导者), 企业为后行动主体(追随者), 企业的合作决策会受到高校激励政策的影响。

3.2. 支付矩阵与复制者动态方程

3.2.1 支付矩阵构建

根据上述定义的高校(S)与企业(E)的策略集合, 两主体的策略组合共有四种情形:

1)(高校合作, 企业合作); 2)(高校合作, 企业不合作); 3)(高校不合作, 企业合作); 4)(高校不合作, 企业不合作)。

为构建支付矩阵, 设定模型参数如下:

设高校可申请获批政府产教融合专项补贴 F , α 为高校激励强度(即高校将政府补贴用于激励企业的比例系数, 后期 Stackelberg 激励机制调节参数), 则 αF 表示高校对企业的激励总额, $(1-\alpha)F$ 留校抵补成本。 β 为补贴溢出系数, 高校每拨付 1 元补贴给企业, 高校则因项目运作良好而声誉提升等外部性可额外获得 $(\beta-1)\alpha F$ 的可货币化收益 ($\beta \geq 1$)。基于上述设定, 双方博弈支付矩阵如表 1 所示。

Table 1. The payoff matrix of the two-party game
表 1. 双方博弈支付矩阵

	企业合作(E1)	企业不合作(E2)
高校合作(S1)	$\gamma R - C_s + (1-\alpha)F + (\beta-1)\alpha F, (1-\gamma)R - C_E + \alpha F$	$-C_s + (1-\alpha)F, -C_E$
高校不合作(S2)	$0, (1-\gamma)R - C_E$	$0, 0$

其中,
 R : 合作带来的项目净利润;
 C_S 、 C_E : 分别为高校和企业的合作投入成本;
 γ : 高校获得的项目净收益分成比例。

3.2.2. 复制者动态方程构建

假设在某一时刻, 高校选择合作的比例为 x , 企业选择合作的比例为 y , 其中 $0 \leq x, y \leq 1$ 。则:

1) 高校(S)采用合作策略(S1)的期望收益为:

$$\pi_{s1} = y[\gamma R - C_S + (1 - \alpha)F + (\beta - 1)\alpha F] + (1 - y)[-C_S + (1 - \delta)F]$$

高校总体平均期望收益为:

$$\bar{\pi}_S = x\pi_{s1} + (1 - x) \cdot 0 = x\pi_{s1}$$

高校合作策略的复制者动态方程:

$$\frac{dx}{dt} = x(\pi_{s1} - \bar{\pi}_S) = x(1 - x)\pi_{s1} \tag{1}$$

2) 企业(E)采用合作策略(E1)的期望收益为:

$$\pi_{e1} = x[(1 - \gamma)R + \alpha F] - C_E$$

企业总体平均期望收益为:

$$\bar{\pi}_E = y\pi_{e1} + (1 - y) \cdot 0 = y\pi_{e1}$$

企业合作策略的复制者动态方程:

$$\frac{dy}{dt} = y(\pi_{e1} - \bar{\pi}_E) = y(1 - y)\pi_{e1} \tag{2}$$

上述复制者动态方程(1)、(2), 描述了高校和企业两个主体策略选择的动态演化过程。

3.3. Stackelberg 博弈激励机制嵌入

为进一步优化校企合作的激励效应, 本文将 Stackelberg 博弈模型引入前述演化博弈分析框架中。假设高校为 Stackelberg 博弈中的领导者, 企业作为跟随者, 高校首先决定激励策略, 并影响企业的合作决策。

3.3.1. Stackelberg 博弈基本设定与激励参数设计

在 Stackelberg 博弈结构中, 高校作为领导者先行制定激励政策(如将政府补贴按一定比例拨付企业), 以激励企业积极合作, 则引入激励机制后的博弈支付矩阵如表 2 所示。

Table 2. The payoff matrix of the two-party game after introducing the incentive mechanism
表 2. 引入激励机制后双方博弈支付矩阵

	企业合作(E1)	企业不合作(E2)
高校合作(S1)	$\gamma R - C_S + (1 - \alpha)F, (1 - \gamma)R - C_E + \alpha F$	$-C_S + (1 - \alpha)F, -C_E$
高校不合作(S2)	$0, (1 - \gamma)R - C_E$	$0, 0$

企业合作策略的期望收益在激励机制影响下调整为:

$$\pi_{E1} = x[(1-\gamma)R + \alpha F] - C_E \quad (3)$$

企业总体平均期望收益调整为:

$$\bar{\pi}_E = x[(1-\gamma)R + \alpha F] - C_E \quad (4)$$

则企业策略的复制者动态方程修改为:

$$\frac{dy}{dt} = y(\pi_{E1} - \bar{\pi}_E) = y(1-y)\pi_{E1} \quad (5)$$

3.3.2. Stackelberg 博弈条件下的均衡求解逻辑

在 Stackelberg 博弈结构下, 高校作为领导者首先确定激励参数 α , 企业随后调整合作概率 y 。高校的决策目标是最大化自身净收益并同时诱导企业合作。高校净收益函数如下:

$$\Pi_s(\alpha, y) = y[\gamma R - C_s + (1-\alpha)F + (\beta-1)\alpha F] + (1-y)[-C_s + (1-\alpha)F] \quad (6)$$

高校作为领导者, 需要求解使自身净收益最大化的最优激励系数 α^* :

$$\alpha^* = \arg \max_{\alpha \in [0,1]} \Pi_s(\alpha, y(\alpha)) \quad (7)$$

该最优化问题的求解需考虑企业的反应函数, 即企业在不同激励水平 α 下选择合作的比例 $y(\alpha)$ 。后续将通过仿真算法(如遗传算法)仿真模拟得到 α^* 的数值解及相应的策略演化路径。

通过嵌入 Stackelberg 博弈激励机制, 本研究可实现以下分析目标: 定量评估不同激励强度对企业合作策略的引导作用, 识别促成合作稳定的激励阈值, 为高校制定可操作、长期有效的激励政策提供依据。

需要说明的是, 在 Stackelberg 博弈的机制设定中, 高校可对企业提供激励, 从而引导其更积极参与合作。虽然在当前许多校内实训基地的实践中尚未落地(访谈结果显示, 数字营销直播基地仅对本校教师提供超课时绩效奖励, 并未向企业提供经济激励), 但保留该机制将具有重要理论价值。一方面, 现实中因受多种因素影响, 容易导致合作收益不稳定。调研发现, 合作初期企业态度积极, 但后续因盈利不稳定或成本压力大而降低投入热情, 有的企业因不熟悉直播流程而投入有限, 有的公司因人手不足难以持续深度参与。另一方面, 从机制设计角度, 设置高校激励参数 α 与 F , 有助于模拟高校给予企业激励的博弈演化路径, 为后续机制优化与政策建议提供理论依据。

3.4. 参数敏感性设计

为验证博弈模型对关键参数变化的响应性, 本研究通过对重庆工程学院数字营销直播实训基地一线教师的实地访谈, 获得部分参数实证数据, 其他参数根据行业经验设定, 选取 1 项访谈得到且对高校行为最为敏感的指标——教师激励强度 I 进行单因素扰动分析。

其他基准参数设定: 项目年净收益 $R=3$ 万元、高校合作成本 $C_E=5.5$ 万元, 企业合作成本 $C_s=6.35$ 万元(企业两年合作一届学生加权平均投入)、设政府补贴 $F=6$ 万元, $\alpha=0.4$, 补贴溢出系数 $\beta=1.5$ (假设高校每给企业 1 万元激励可获得的溢出效应货币化), 项目净收益高校分成比例 $\gamma=0.5$, 设学习速率 $\eta=0.05$ (假设双方只把理论收益差的 5%立即转化为合作概率变化行动, 反馈链条长存在反应时间滞后), 绩效惩罚强度 $P=0.1$ (绩效惩罚换算的折扣比例), 校企初始合作概率 $x(0)=y(0)=0.15$ 。时长区间为 $t \in [0,12]$, 步长 $\Delta t=0.1$ 。

对于高校教师激励敏感性, 在访谈中, 该基地的高校教师激励强度 $I=4.32$ 万元(按学校制度给予每年超课时工作量计算), 据此设定 I 在 $[0,6]$ 万元范围逐步递增, 实时写入高校常数收益项 $-C_s + (1-\alpha)F + (\beta-1)\alpha F + I$, 观察高校合作概率随两个参数变化的趋势。采用 Python 编程, 基于复制

者动态方程进行数值仿真, 绘制合作概率与参数变动关系曲线。如图 1 所示, 随着教师激励强度的提升, 高校更有动力参与校企合作, 证明校内激励是提升高校合作动机的有效杠杆。

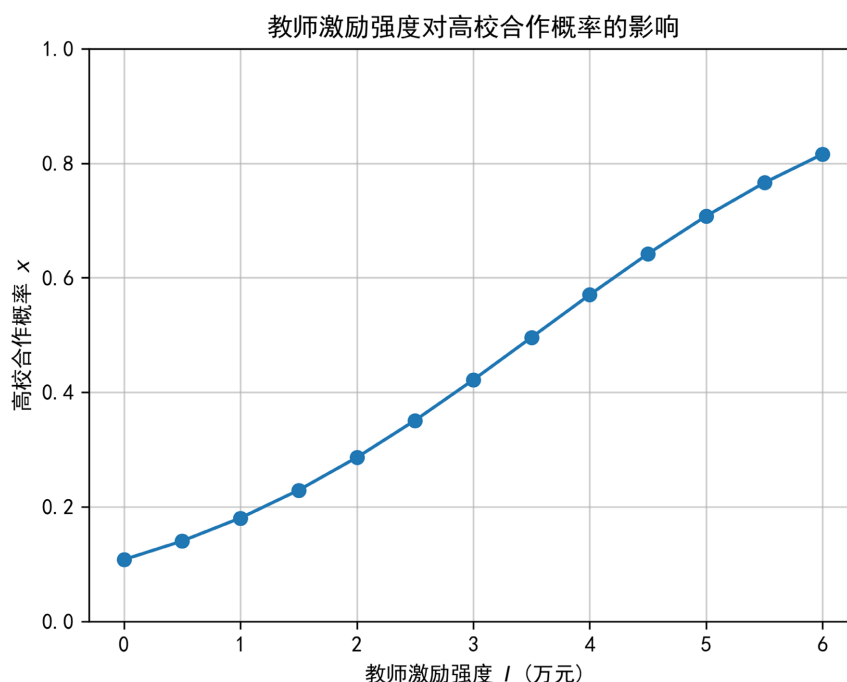


Figure 1. The impact of teacher incentive intensity on universities' cooperation probability
图 1. 教师激励强度对高校合作概率的影响

4. 理论解析与演化博弈均衡

4.1. 复制者动态稳定点求解

设高校选择合作的概率为 $x \in [0, 1]$, 企业选择合作的概率为 $y \in [0, 1]$, 依据前述支付矩阵, 校企合作和不合作时的边际收益差为:

$$\Delta S = -C_s + (1-\alpha)F + (\beta-1)\alpha F + y\gamma R$$

$$\Delta E = -C_e + x[(1-\gamma)R + \alpha F]$$

则系统的动态演化路径可表示为如下复制动态系统:

$$\begin{cases} \dot{x} = x(1-x)\Delta S \\ \dot{y} = y(1-y)\Delta E \end{cases} \quad (8)$$

依据博弈支付矩阵设定, 代入具体收益表达式, 得到系统在状态空间 $(x, y) \in [0, 1]^2$ 内的所有稳定点。对系统进行线性化处理, 构造其雅可比矩阵如下:

$$J(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial \dot{x}}{\partial x} & \frac{\partial \dot{x}}{\partial y} \\ \frac{\partial \dot{y}}{\partial x} & \frac{\partial \dot{y}}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-2x)\Delta S & x(1-x)\gamma R \\ y(1-y)[(1-\gamma)R + \alpha F] & (1-2y)\Delta E \end{bmatrix} \quad (9)$$

结合系统边界条件与参数设定, 在区间端点 $(x, y) \in \{0, 1\} \times \{0, 1\}$ 处存在 4 个可能的平衡点。部分参数

组合下, 还可能出现满足 $\Delta S = 0$ 或 $\Delta E = 0$ 的内部平衡。通过分析雅可比矩阵在各平衡点的特征值符号可判别稳定性: 若所有特征值实部为负, 则该平衡点为渐近稳定; 若存在正实部特征值, 则为不稳定点或鞍点; 若出现零特征值, 需进一步采用高阶导数或构造李雅普诺夫函数进行判定。

4.2. 相位图可视化与演化路径

为更直观刻画高校与企业在策略演化过程中的动态特征, 本节根据前述复制动态方程绘制其双边策略演化的相位图。其演化路径可表示为:

$$\frac{dx}{dt} = x(1-x)[-C_s + (1-\alpha)F + (\beta-1)\alpha F + I + \gamma Ry] \tag{10}$$

$$\frac{dy}{dt} = y(1-y)\{-C_e + x[(1-\gamma)R + \alpha F]\} \tag{11}$$

其中, 根据实地访谈数据, $R=3$ 万元、 $C_s=5.5$ 万元、 $C_e=6.35$ 万元、 $F=10$ 万元、 $\alpha=0.8$ 、 $\beta=1.5$ 、 $I=4.32$ 万元、 $\gamma=0.5$ 、 $\eta=0.05$ 。根据式(10)与(11), 构建二维相位图, 如图 2 所示。图中箭头方向表示系统的动态演化方向, 箭头密集区表明演化速度较快区域。若初始合作概率不高, 则高校和企业可能趋于策略保守; 而在高校获得较高补贴($F=10$ 万元)并高比例($\alpha=0.8$)用于企业激励后, 向量场整体趋向(1,1), 即收敛于双方合作均衡。该结果验证了激励机制对系统演化轨迹的显著导向作用, 校企合作才能稳定共赢。

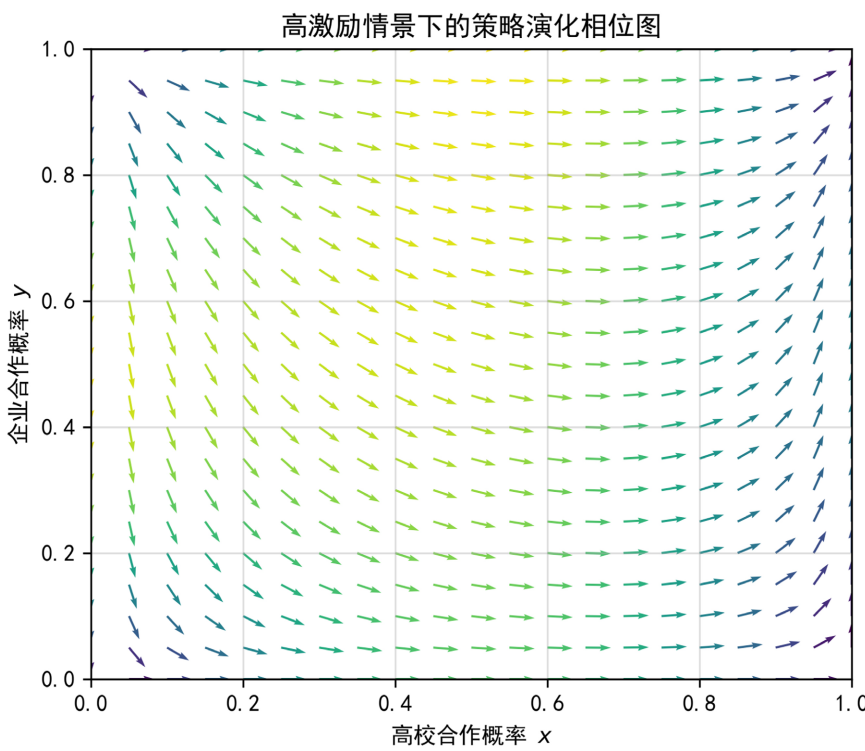


Figure 2. Phase diagram of university-enterprise cooperation strategy evolution under high incentives
图 2. 高激励下高校 - 企业合作策略演化相位图

4.3. 激励机制参数分析

高校在 Stackelberg 框架中通过调节激励强度 α 引导企业决策。本节推导企业视角下的最优激励需

求, 并给出高校在预算约束内的最优拨付策略。

4.3.1. 激励强度 α 的最优解推导

设企业获得的年净收益为:

$$\Pi_E(\alpha) = x[(1-\gamma)R + \alpha F] - C_E \quad (12)$$

其中各参数定义同前。为实现企业最大化收益并诱导其选择合作策略, 需满足对 α 的偏导为正, 即:

$$\frac{\partial \Pi_E}{\partial \alpha} = xF > 0 \quad (13)$$

即在其他条件不变时, 激励系数 α 越大越能提高企业收益并增强其合作动机。

高校同时面临预算上限 $0 \leq \alpha \leq 1$ 且希望确保企业至少不亏 ($\Pi_E \geq 0$), 于是有:

$$x[(1-\gamma)R + \alpha F] \geq C_E \Rightarrow \alpha \geq \frac{C_E - x(1-\gamma)R}{xF}$$

综合可行域, 高校可拨付的最小激励强度为

$$\alpha_{\min} = \max \left\{ 0, \frac{C_E - x(1-\gamma)R}{xF} \right\}$$

而最优激励强度为:

$$\alpha^* = \begin{cases} \alpha_{\min}, & \text{若 } \alpha_{\min} \leq 1, \\ 1, & \text{若 } \alpha_{\min} > 1 \text{ (预算无法弥补成本)} \end{cases} \quad (14)$$

该结果表明, 在激励总量 F 及高校合作概率 x 达到一定水平时, 适度提高能够有效补偿企业成本缺口, 实现双边合作的稳定均衡。

4.3.2. 激励阈值敏感性与稳定区域检验

在高校-企业策略复制者动态方程系统(8)~(11)中, 企业保持合作的充分条件是其边际收益差非负, 构建演化稳定条件如下:

$$\Delta E = -C_E + x[(1-\gamma)R + \alpha F] \geq 0 \quad (15)$$

当激励总额 αF 超过企业合作成本与净收益差值 $C_E - (1-\gamma)R$ 时, 企业合作策略成为收益优势, 复制者动力把系统推向 $(x=1, y=1)$ 稳定点。该不等式明确划分出稳定与非稳定的合作区域, 为激励机制的调节提供了明确界限。

5. 遗传算法仿真

5.1. 遗传算法流程与模型编码

为进一步验证演化博弈模型中合作机制的最优激励策略组合, 引入遗传算法(Genetic Algorithm, GA)进行仿真优化。该算法具备全局搜索能力, 适用于非线性、多参数优化问题, 能够模拟高校与企业在不同激励配置下的策略演化过程。以遗传算法搜索激励参数的全局优解: 将拨付比例 α 与溢出系数 β 实值编码为染色体, 随机生成初始种群; 适应度函数设为“高校-企业平均合作率 + 双方净收益总和”的加权和。每一代用轮盘赌选择、单点交叉和均匀变异更新种群, 并调用复制者动态方程仿真 12 个月以计算适应度; 若参数超财政约束则加入罚项。迭代至收敛后输出最优档位 ($\alpha = 0, 0.4, 0.8$), 并在这些固定参数下进行演化情景模拟。整个仿真以 Python 实现, 并结合博弈模型约束条件动态调整适应度评估过程,

从而实现机制最优解的智能搜索。

5.2. 仿真设置与合作演化结果分析

为深入探究高校 - 企业合作机制在不同激励条件下的动态演化路径及经济效果, 本研究基于前述演化博弈理论框架, 构建数值仿真模型, 对核心参数进行赋值并使用 Python 对策略演化过程进行数值仿真模拟分析, 模拟设置依托数字营销直播基地访谈实证数据。考虑现实中高校对企业激励机制尚未普遍建立, 但在模型中保留高校激励企业的设定, 通过构建不同激励强度情境, 分析其对合作演化动态的作用机制与边际影响。

5.2.1. 参数设定与仿真模型构建

高校 - 企业双方的合作决策受动态收益差异驱动, 其中, 高校以其合作激励强度 α 提升企业的收益吸引力, 企业则依据净收益变化决定是否持续合作。设高校选择合作的概率为 $x(t)$, 企业选择合作的概率为 $y(t)$, 合作概率随时长变化。模型关键参数依据数字营销实训基地访谈数据及行业经验合理假设所得, 如表 3 所示。

Table 3. Parameter settings for simulation
表 3. 仿真模拟参数设置

参数符号	参数含义	数值设定
R	年度合作净收益(双方共享)	3 万元
β	补贴溢出系数(设 $\beta \geq 1$, 表示高校每拨付 1 元补贴给企业, 因项目经营良好带来高校声誉提升、招生吸引力等间接效应可为高校间接转化为 $(\beta - 1)$ 元的可货币化收益)	1.5 万元 (假设高校每给企业 1 万元激励可获得的溢出效应货币化)
η	学习速率($\eta \in [0, 1]$, 表示高校与企业在每个周期更新其合作策略即合作概率的敏感度, η 越小, 合作概率上升或下降需要更长时间)	0.15 (假设双方只把理论收益差的 15% 立即转化为合作概率变化行动, 反馈链条长存在反应时间滞后)
γ	高校净收益分成比例	50%
C_s	高校年度合作成本	5.50 万元
C_e	企业年度合作成本	6.35 万元
α	高校激励强度 (为高校将政府补贴用于激励企业的比例系数)	按三种比例进行运算
F	高校可用于企业激励的资源总量 (通常来自高校申请的政府专项补贴资金)	5 万元 (按申请政府专项补贴最低额估算)
P	高校惩罚强度(表示高校在基地年度考核中因管理不善对教师的绩效工资惩罚)	0 万元(因为对教师绩效的扣减仅在校内账户之间转移, 不产生学校现金净流出, 故在纯现金收益分析里可忽略其影响)

为还原高校与企业策略演化过程, 设初始合作概率为 $x(0) = y(0) = 0.15$, 即双方在初始对于合作持谨慎态度, 依赖时间推移观望调整。仿真时间区间设为 $t \in [0, 12]$, 步长 $\Delta t = 0.1$, 采用四阶龙格 - 库塔法 (Runge-Kutta) 数值方法对演化方程进行迭代求解。

高校合作的边际收益差:

$$\begin{aligned} S_C - S_N &= y[\gamma R - C_s + (1 - \alpha)F + (\beta - 1)\alpha F] + (1 - y)[-C_s + (1 - \alpha)F] - 0 \\ &= -C_s + (1 - \alpha)F + y[\gamma R + (\beta - 1)\alpha F] \end{aligned}$$

企业合作的边际收益差:

$$E_C - E_N = x[(1-\gamma)R - C_E + \alpha F] + (1-x)(-C_E) - 0 = -C_E + x[(1-\gamma)R + \alpha F]$$

高校合作概率演化方程的复制动态方程如下:

$$\frac{dx}{dt} = \eta x(1-x) \{-C_S + (1-\alpha)F + y[\gamma R + (\beta-1)\alpha F]\} \quad (16)$$

企业合作概率演化方程如下:

$$\frac{dy}{dt} = \eta y(1-y) \{-C_E + x[(1-\gamma)R + \alpha F]\} \quad (17)$$

其中, 高校的收益函数受企业是否合作的影响显著。企业的收益则取决于高校是否合作(提供制度与场地支持)以及高校是否投入激励资源 αF 。 αF 表示企业能从校企合作中获得的来自高校的激励总额。

为进一步呈现企业净收益与合作意愿、激励机制的关系, 构建如下企业净收益函数:

$$\Pi_E = [(1-\gamma)R + \alpha F]x - C_E \quad (18)$$

其中, Π_E 表示在不同合作概率 x 与激励强度 α 下的企业年度净收益水平, 是其进行合作博弈策略的重要依据。

5.2.2. 高校激励强度对合作演化的影响

为模拟不同高校激励强度 α 对高校 - 企业合作概率演化路径的影响, 设置 α 分别为 0 (无激励)、0.4 (适度激励) 与 0.8 (较强激励) 三种情形进行演化分析, 并通过 Python 绘制高校合作概率 x 随时间变化的演化轨迹, 结果如图 3 所示。

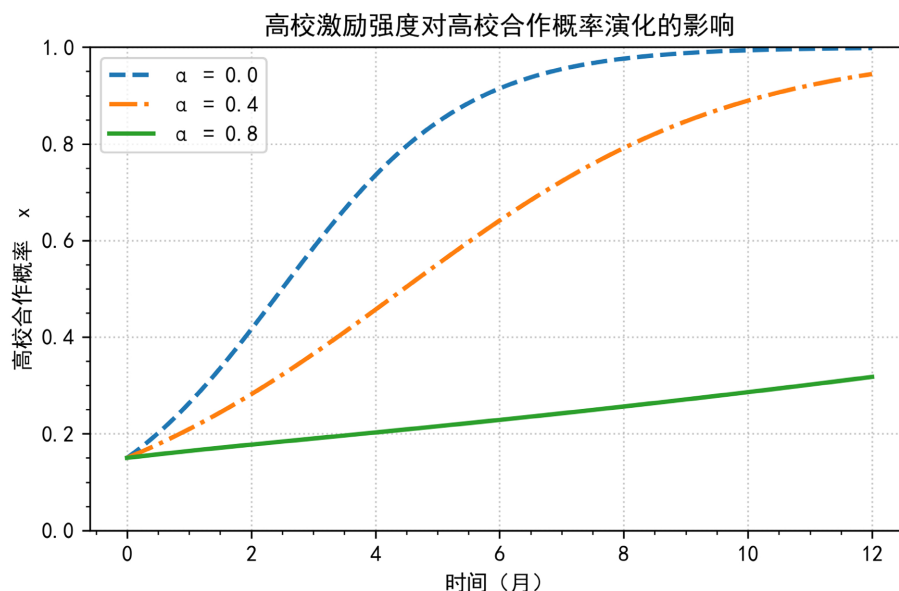


Figure 3. The impact of university incentive intensity on the evolution of universities' cooperation probability
图 3. 高校激励强度对高校合作概率演化的影响

由于高校合作概率 $x(t)$ 能综合反映高校的考虑, 包括经济激励能否抵补显性成本、非经济目标如教学和声誉、企业方合作意愿的反馈作用等。所以只有当 α 足以推动 $x(t)$ 升高且稳定, 激励机制才可能长期有效。仿真结果表明: 当高校不提供激励($\alpha = 0$)时, 高校合作意愿 $x(t)$ 只是缓慢上升, 年底也不到

$x = 0.4$; 在适度激励($\alpha = 0.4$)情形下, 高校合作概率在周期内快速上升; 当激励强度进一步提升($\alpha = 0.8$), 高校合作概率迅速上升并趋于高位稳定, 系统表现出良好共生趋势。说明高校对企业适度激励有助于形成长期稳定合作格局。

5.2.3. 高校激励对企业收益的复合影响

为刻画合作概率与激励强度对企业利益的复合影响, 通过 Python 绘制企业净收益 Π_b 关于高校合作概率 x 与激励强度 α 的三维仿真图, 如图 4 所示。

企业净收益关于高校合作概率与激励强度的三维曲面

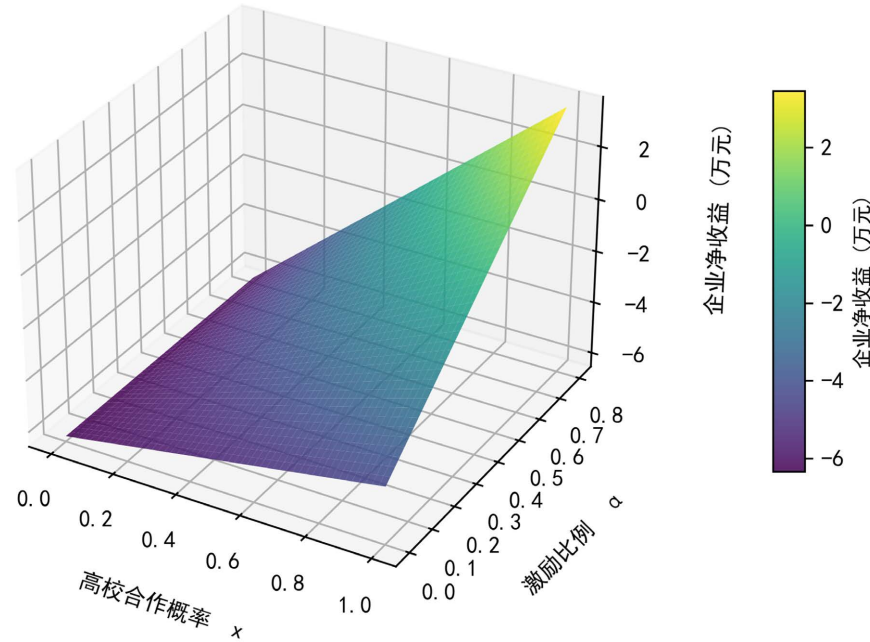


Figure 4. The impact of enterprises' net benefits on universities' cooperation probability and incentive intensity
图 4. 企业净收益对高校合作概率与激励强度的影响

图中可见曲面呈线性上扬。当 $\alpha \leq 0.4$ 时, 企业即便高校完全配合也只能分到 2 万利润, 难以覆盖投入成本, 净收益始终为负(曲面位于 0 以下的蓝紫区域)。当 $\alpha \geq 0.8$ 且 $x > 0.64$ (右前方绿黄区域)时, 补贴加利系数升至 10 万, 企业即出现正收益; 随着 x 进一步升高, 净收益快速爬升。表明企业要想实现盈亏平衡, 一方面需要高校提供 $\alpha \geq 80\%$ 的激励, 另一方面也取决于高校自身的高合作度; 任何一方合作不足, 项目即陷入亏损。因此, 高校激励与合作意愿呈复合放大效应: 激励助推企业收益提升, 反过来促使企业加大投入, 进一步提高合作概率与项目整体绩效。说明高校合作意愿(高 x)与激励强度(高 α)的双向强化有助于提升企业参与动力。

6. 结论与建议

本研究基于演化博弈与 Stackelberg 激励框架揭示了产教融合中校企合作动力的内在机理。一是仅当高校提供给企业的激励足以弥补企业成本缺口时, 合作策略才具有持久吸引力; 二是高校自身现金收益保持非负是合作关系得以延续的前提; 三是教师绩效激励能够显著提升高校的合作意愿, 从而放大激励措施的整体效应。通过遗传算法全局搜索, 可在预算约束内确定若干高适应度的激励等级, 为校方提供可操作的差异化配置方案。

推动校内实训项目长期稳定, 需要在激励设计与成本分担上形成闭环。一是设置分层拨付机制, 高校应随企业投入强度与项目绩效动态提高激励比例, 确保企业持续正收益预期; 二是将教师超课时奖励同项目成果紧密挂钩, 构建“外部合作-内部激励”协同放大模式; 三是针对设备折旧和流量投放等高成本环节, 推行“企业先付-高校补贴-利润反哺”的三段式成本共担方案, 并建立激励阈值监测与预警, 当激励额度临近不足即自动触发补贴或分成调整, 避免合作关系滑入不稳定区。

基金项目

重庆工程学院 2023 年教育教学改革研究重点项目“校企共建经管类项目化校内实训基地研究”(JY2023105); 2025 年重庆市教委人文社会科学研究规划项目“基于 AI 技术的重庆应用型本科产教融合效果评估与优化路径研究”(25SKGH287); 2024 年重庆市教育科研实验基地建设项目“应用型本科校企协同育人与产教融合体系构建研究与实践”(JD2024G028); 重庆工程学院校级科研平台“数智经济协同创新中心”; 重庆工程学院 2021 年校级工商管理学科平台建设。

参考文献

- [1] 裘指挥, 蒋洋, 张丽. 新中国产教融合政策的变迁历程、逻辑理路和未来展望[J]. 江西师范大学学报(哲学社会科学版), 2025, 58(3): 57-67.
- [2] 袁丹丹. 地方应用型本科高校产教融合机制构建研究——以吉林省为例[J]. 职业技术教育, 2023, 44(32): 16-20.
- [3] 胡茂波, 吴思. 博弈论视野下高职教育校企合作的困境与对策[J]. 教育与职业, 2012(23): 11-13.
- [4] Liu, C., Wang, H. and Dai, Y. (2023) Sustainable Cooperation between Schools, Enterprises, and Government: An Evolutionary Game Theory Analysis. *Sustainability*, **15**, Article 13997. <https://doi.org/10.3390/su151813997>
- [5] Wang, H., Liu, C. and Dai, Y. (2024) How Can the Government Promote Sustainable Cooperation between Schools and Enterprises? A Quadrilateral Evolutionary Game Study. *Sustainability*, **16**, Article 7307. <https://doi.org/10.3390/su16177307>
- [6] 郭伟刚, 查伟华. 利益博弈下高职院校校企合作生产性实训基地运作机制研究[J]. 科技通报, 2014, 30(5): 234-238.
- [7] 俞慧刚. 利益、心理与决策行为: 高职教育校企合作复杂利益关系的博弈整合[J]. 职业技术教育, 2020, 41(26): 18-22.
- [8] 万伟平. 产教融合的运行困境及其突破机制研究——基于博弈论与新制度经济学的分析[J]. 教育学术月刊, 2024(2): 30-37.
- [9] 齐再前, 丛森, 孙晓鲲. 基于博弈论的高等职业教育校企合作机制的初步探讨[J]. 教育与职业, 2015(17): 23-25.
- [10] You, Y., Deng, K., Zhu, J., et al. (2024) Research on the Current Situation and Innovation Driven Path of Industry Education Integration in Applied Undergraduate Universities with the Background of New Era. *International Journal of Science*, **11**, 1-16.
- [11] Qi, Y. and Feng, W. (2025) Innovative Research on Undergraduate Education Models Driven by Industry-Education Integration under the Framework of New Quality Productivity. *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing*, **127**, 2275-2293.
- [12] Zheng, X., Cui, X., Sun, J. and Zhang, X. (2024) Design and Application of School-Enterprise Cooperation System Platform Based on Genetic Algorithm. In: Zhang, Y. and Shah, N., Eds., *Application of Big Data, Blockchain, and Internet of Things for Education Informatization*, Springer, 137-147. https://doi.org/10.1007/978-3-031-63139-9_15
- [13] Xu, H. (2024) Construction of Personalized Practice Teaching Platform for School-Enterprise Integration Based on Improved Genetic Algorithm. 2024 *International Conference on Interactive Intelligent Systems and Techniques (IIIST)*, Bhubaneswar, 4-5 March 2024, 20-25. <https://doi.org/10.1109/iist62526.2024.00027>
- [14] 季海蓉. 西宁市 JY 产教融合实训基地项目进度优化管理研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2024.
- [15] 夏维力, 李晓歌. 校企合作创新网络信任与知识转移的演化关系研究[J]. 软科学, 2015, 29(1): 53-59.
- [16] 屈璐, 李癸. 多主体视角下职业教育产教融合激励机制演化博弈分析[J]. 职业技术教育, 2023, 44(10): 37-45.
- [17] 危浪, 王翠霞. 职业教育校企深度合作演化仿真研究[J]. 系统科学学报, 2024, 32(4): 112-117.
- [18] 孟稳, 张龙. 高职院校校内实训基地的研究[J]. 湖北开放职业学院学报, 2020, 33(1): 50-52.

- [19] 刘欣月. 高职院校校内实训基地建设的问题及对策研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2021.
- [20] Cheng, J., Qin, L. and Zheng, R. (2024) The Construction of College-Enterprise Cooperation Training System for Improving College Students' Innovative and Practice Ability. *Journal of Theory and Practice of Management Science*, **4**, 33-36. [https://doi.org/10.53469/jtpms.2024.04\(04\).05](https://doi.org/10.53469/jtpms.2024.04(04).05)
- [21] Wang, Y. (2022) The Mode of School-Enterprise Cooperation to Solve the Talent Dilemma of Small and Micro Enterprises. *Adult and Higher Education*, **4**, 36-42.
- [22] 鲁捷. 深化高校物业管理专业校企合作的思考[J]. 中国物业管理, 2021(11): 69-72.
- [23] Qin, Q. and Lei, Y. (2024) Research on Existing Problems and Countermeasures in School-Enterprise Cooperation in Private Higher Vocational Colleges. *Journal of Education and Educational Research*, **7**, 222-226. <https://doi.org/10.54097/qw8h8522>