

基于学术社交网络的科研团队合作行为 三方演化博弈与仿真分析

吴 瑞¹, 张耀坤², 焦 磊³

(1. 华南理工大学公共管理学院, 广东 广州 510641;

2. 南昌航空大学经济管理学院, 江西 南昌 330063; 3. 华南理工大学高等教育研究所, 广东 广州 510641)

摘 要: 学术社交网络平台是开展科研合作的重要手段。构建学术社交网络平台、科研团队负责人、科研人员三方演化博弈模型, 刻画博弈演化路径和参数敏感性分析。研究表明: 初始策略、主体收益和成本及平台奖惩措施是影响系统演化的重要因素。据此, 提出优化学术社交网络科研团队合作行为的策略, 推动科研合作与创新。

关键词: 学术社交网络; 科研团队; 学术合作; 三方博弈

中图分类号: G302

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2024)09-0174-11

Tripartite evolutionary game and simulation analysis cooperative behavior of scientific research teams based on academic social network

WU Rui¹, ZHANG Yaokun², JIAO Lei³

(1. School of Public Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;

2. School of Economics and Management, Nanchang HangKong University, Nanchang 330063, China;

3. Institute of Higher Education, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Academic social network platforms are important means to carry out scientific research cooperation. This paper constructs a tripartite evolutionary game model of academic social network platforms, research team leader and researchers, describes the evolutionary path of the game and analyzes the sensitivity of parameters. The results show that initial strategy, benefits and costs of agents and platform rewards and punishments are important factors affecting system evolution. Finally, strategies to optimize the cooperative behavior of academic social network scientific research teams are proposed to promote scientific research cooperation and innovation.

Key words: academic social network; scientific research team; academic cooperation; tripartite game

新冠病毒感染疫情不仅威胁着人们生命安全, 也改变了人们生活工作方式。原本科研人员习以为常的线下学术交流模式也因疫情防控要求逐渐转变为线上学术交流与合作。可以说, 疫情在一定程度上催生了科研人员线上交流与合作需求。学术社交网络平台的出现(如 ResearchGate)

弥补了传统学术交流模式的不足, 逐渐成为科研人员线上学术交流与知识创新的重要工具^[1]。越来越多的科研人员及团队在学术社交网络上开展搜寻、交流、协作, 形成基于学术社交网络的虚拟科研团队学术交流与合作模式。学术社交网络也将促进科研团队在平台中合作视为其核心价

收稿日期: 2024-05-05 修回日期: 2024-07-22

基金项目: 国家社会科学基金项目“世界一流大学跨学科研究组织变革逻辑及支撑制度创新研究”(BIA230171)。

作者简介: 吴瑞(1998—), 男, 江西浮梁人, 华南理工大学公共管理学院博士生, 研究方向为科研合作与科技政策。通信作者: 张耀坤。

值^[2],促进互利共赢。较于线下科研团队,学术社交网络中科研团队不受地理位置限制^[3],由分散在各地的科研人员组成,成员流动性高。科研团队成员基于学术社交网络交流与合作,一方面有利于提高科研人员知识储备和成果产出,另一方面科研团队也因成员积极合作而壮大。对于平台而言,其价值也得以体现。

学术社交网络科研团队合作行为中各方主体均寻求自身利益最大化,存在复杂博弈关系。以往关于学术社交网络科研合作行为研究,仅考虑了不同角色的科研人员^[4],未纳入学术社交网络平台或社区管理者^[5]。因此,本文将平台引入博弈模型中,以学术社交网络平台、科研团队负责人、科研人员作为主体,构建学术社交网络科研团队合作行为演化博弈模型,分析相互影响的演化机理,并运用系统动力学进行仿真分析,进而探索系统演化至稳定状态的动态过程,提出相关策略建议,以期促进学术社交网络科研团队合作行为的持续进行,推动学术服务平台运行,服务于国家创新体系建设。

一、文献综述

现有研究从学术社交网络平台科研合作功能、科研团队使用学术社交网络合作行为及基于学术社交网络的科研团队合作行为博弈关系3个方面展开。

(1)学术社交网络平台科研合作功能研究。融合科研活动与普通社交功能的学术社交网络兼具学术科研^[6]与交流合作功能^[7]。平台为促进科研人员交流与合作开发系列功能,包括学术信息展示、合作网络管理及学术交流等^[8]。大多数平台如科研之友、ResearchGate 都提供学术信息展示功能,介绍科研人员和团队的学术信息^[9],形成学术信息名片,增加潜在合作机会^[10]。合作网络管理功能基于关注—被关注^[11]及合作者展示^[12]两种机制,综合推荐算法为科研团队推荐潜在合作者^[13],促进科研合作转化。学术交流功能更为多元化,包括问答^[14]、私信、交流群组^[15]等模式,直接或者间接地参与平台中科研合作。这些功能为科研团队在平台中开展合作提供了便捷的方式,平台也因用户持续使用而极具价值。

(2)科研团队使用学术社交网络合作行为研

究。研究者们关注了合作需求、合作行为机制模式与合作行为特征。首先,对科研团队使用学术社交网络合作行为需求的关注,按照信息行为理论,信息需求是信息行为发生的前提要素。科研团队使用平台开展合作隶属信息行为,因此对科研合作信息需求的关注成为重点。研究者从个体和外界因素两个层面展开研究^[16],包括个体需求要素^[17]、任务复杂要素^[18]及信息分散要素^[19]。其次,对科研合作信息行为机制的关注。如金燕基于科研团队合作行为过程,构建科研团队合作行为模型^[20]。最后,关注科研合作行为的模式与特征。重点关注典型平台的合作行为,如 ResearchGate^[21]、小木虫^[22]等,Hammook 等^[17]指出师生科研合作行为是 ResearchGate 上重要合作模式。

(3)基于学术社交网络的科研团队合作行为博弈关系研究。科研团队有合作信息需求^[23],平台亦能提供交流、关注与被关注等功能来满足合作信息需求,理论上这二者之间并无冲突。然而,研究发现平台提供的基础数据不足^[24]、信息质量不佳^[25],导致未完全满足用户合作行为需求。此外,Jokob^[26]指出学术社交网络用户存在 90-9-1 现象(即 90% 用户不怎么使用,9% 用户偶尔使用,只有 1% 用户积极使用),科研团队使用平台有限。长此以往,科研团队与平台之间就会陷入恶性循环。

综上所述,国内外学者对平台与科研团队合作行为进行了大量研究,少数学者关注了学术社交网络科研合作行为^[27]中的博弈关系,但也仅考虑不同角色科研人员,未曾考虑平台或社区管理者。据此,本文运用演化博弈,将学术社交网络平台纳入博弈模型中构建了三方演化博弈模型,并结合系统动力学仿真展示系统演化动态路径。

二、问题描述与基本假设

(一)问题描述

博弈论是理性个体在交互过程中寻求最优选择的方法,演化博弈则将博弈论与动态演化过程结合,基于有限理性人的考虑,研究博弈各方策略选择。学术社交网络科研团队合作行为各方主体均寻求自身利益最大化,主体策略会及时调整,最终趋于稳定,具备演化博弈基本特征。

本文将学术社交网络科研团队合作行为演化

博弈的参与主体划分为学术社交网络平台、科研团队负责人及科研人员,在演化过程中,科研人员根据自身需求作出策略选择(参与,不参与);科研团队负责人根据团队建设需要选择(推进,不推进)科研合作;学术社交网络平台则对科研团队合作行为采取(支持,不支持)。学术社交网络平台、科研团队负责人、科研人员采取不同策略选择所付出成本和收益会存在差异,连续动态变化,此过程如图 1 所示。

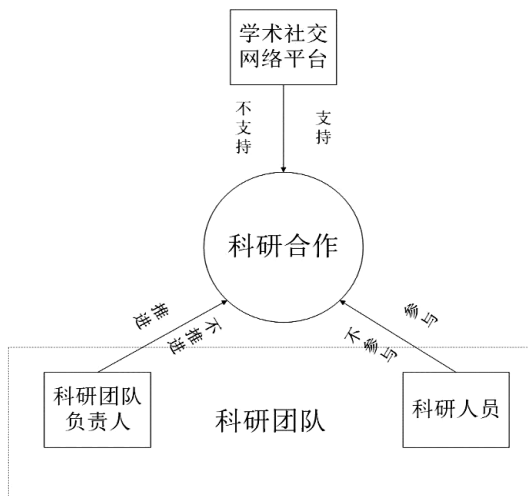


图 1 学术社交网络科研团队合作行为三方博弈关系

(二)相关假设

本文构建“学术社交网络平台—科研团队负责人—科研人员”三方演化博弈模型,分析各参与主体策略选择对博弈结果影响。提出如下假设:

假设 1:学术社交网络科研团队合作行为博弈系统的参与主体设定为学术社交网络平台、科研团队负责人和科研人员;各参与主体均是有限理性且在不完全信息状况下根据对方策略选择调整策略,满足自身利益最大化。

假设 2:学术社交网络平台有两种策略选择,支持科研团队和科研人员在平台上进行科研合作(简称“支持合作”),优化相应功能机制和奖惩机制,概率为 $x(0 \leq x \leq 1)$;不支持科研团队和科研人员在平台上进行科研合作(简称“不支持合作”),概率为 $1 - x(0 \leq 1 - x \leq 1)$ 。

假设 3:科研团队负责人有两种策略选择,推进科研人员在平台参与科研团队合作(简称“推进合作”),概率为 $y(0 \leq y \leq 1)$;不推进科研人员在

平台参与科研团队合作(简称不推进合作),概率为 $1 - y(0 \leq 1 - y \leq 1)$ 。

假设 4:科研人员有两种策略选择,参与平台中科研团队合作(简称“参与合作”),概率为 $z(0 \leq z \leq 1)$;不参与平台中科研团队合作(简称“不参与合作”),概率为 $1 - z(0 \leq 1 - z \leq 1)$ 。

表 1 演化博弈模型参数

参与主体	参数	数据来源
学术社交网络平台	C_1	平台支持合作成本(优化功能、监管等花费)
	R_{11}	科研人员参与合作且平台支持获得收益
	R_{12}	负责人推进合作获得收益
	C_{12}	负责人不推进合作平台付出管理成本
	N_1	科研人员参与合作但平台不支持带来损失
科研团队负责人	C_2	负责人推进合作付出成本
	E_2	负责人推进合作获得收益
	R_{22}	负责人推进合作平台给与奖励
	P_2	负责人不推进合作平台给与惩罚
	N_2	科研人员参与合作但负责人不推进产生损失
科研人员	C_3	科研人员参与合作付出成本
	E_3	科研人员参与合作获得收益
	R_{31}	科研人员参与合作平台给予奖励
	R_{32}	平台或负责人支持推进合作获得额外收益
	P_3	科研人员不参与合作或负责人不推进造成损失

在博弈系统中,主体策略选择给各方带来收益与损失不同。为方便构建收益矩阵,对模型参数和表达含义设置如表 1 所示。博弈系统共存在 8 种不同的策略组合,得益矩阵如表 2。

表 2 演化博弈得益矩阵

策略组合	学术社交网络平台	科研团队负责人	科研人员
{支持,推进,参与}	$R_{12} + R_{11} - C_1 - R_{22} - R_{31}$	$R_{22} + E_2 - C_2$	$E_3 + R_{32} + R_{31} - C_3$
{支持,推进,不参与}	$R_{12} - C_1 - R_{22}$	$R_{22} - C_2$	$R_{32} - P_3$
{不支持,推进,参与}	$R_{12} - N_1$	$E_2 - C_2$	$E_3 + R_{32} - C_3$
{不支持,推进,不参与}	R_{12}	$-C_2$	$R_{32} - P_3$
{支持,不推进,参与}	$R_{11} - C_1 - C_{12} - R_{31}$	$-P_2 - N_2$	$E_3 + R_{32} + R_{31} - C_3 - P_3$
{支持,不推进,不参与}	$-C_1 - C_{12}$	$-P_2$	$R_{32} - P_3$
{不支持,不推进,参与}	$-C_{12} - N_1$	$-N_2$	$E_3 - C_3 - P_3$
{不支持,不推进,不参与}	$-C_{12}$	0	$-P_3$

三、演化博弈模型构建与求解

博弈过程中,各主体均处于有限理性,其策略选择使自身利益最大化,并根据演化过程动态调整。根据得益矩阵来计算平台、负责人和科研人员的期望收益与平均收益情况并构建复制动态方程,据此刻画博弈系统演化情况。

(一)学术社交网络平台的复制动态方程

对于平台而言,选择支持合作和不支持合作策略,期望收益分别为 U_{11} 和 U_{12} ,平均收益为 U_1 。

$$U_{11} = yR_{12} - yR_{22} + zR_{11} - zR_{31} - C_1 - C_{12} + yC_{12} \quad (1)$$

$$U_{12} = yR_{12} - zN_1 - C_{12} + yC_{12} \quad (2)$$

$$U_1 = xU_{11} + (1-x)U_{12} \quad (3)$$

基于 Malthusian 动态方程和演化博弈得到平台选择“支持合作”策略的复制动态方程 1:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(1-x)[z(R_{11} - R_{31} + N_1) - C_1 - yR_{22}] \quad (4)$$

当复制动态方程为 0 时,解可能是演化博弈系统均衡点,故令 $F(x) = 0$ 。

①当 $z = z_1 = \frac{C_1 + yR_{22}}{R_{11} - R_{31} + N_1}$ 时, $F(x) \equiv 0$, 对于任何 x 值,博弈系统处于稳定状态。无论平台选择支持合作或不支持合作,策略均不随时间发生改变。

②当 $z \neq \frac{C_1 + yR_{22}}{R_{11} - R_{31} + N_1}$ 时, $x = 0$ 与 $x = 1$ 是博弈系统可能的均衡状态点。只有当 $\frac{dF(x)}{dx} < 0$ 时,该点才是均衡策略点(ESS)。对 $F(x)$ 求导可得: $\frac{dF(x)}{dx} = (1-2x)[z(R_{11} - R_{31} + N_1) - yR_{22} - C_1]$ 。此时有两种情况,

情况一:当 $0 < z < \frac{yR_{22} + C_1}{R_{11} - R_{31} + N_1}$ 时, $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=1} > 0$, $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=0} < 0$, $x=0$ 是平台策略选择演化均衡点,即平台倾向于选择不支持合作策略。

情况二:当 $\frac{yR_{22} + C_1}{R_{11} - R_{31} + N_1} < z < 1$ 时, $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=1} < 0$, $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=0} > 0$, $x=1$ 是平台策略选择演化均衡点,即平台倾向于选择支持合作策略。

(二)科研团队负责人的复制动态方程

对于负责人而言,选择推进合作和不推进合作策略,期望收益分别为 U_{21} 和 U_{22} ,平均收益为 U_2 。

$$U_{21} = xR_{22} + zE_2 - C_2 \quad (5)$$

$$U_{22} = -xP_2 - zN_2 \quad (6)$$

$$U_2 = yU_{21} + (1-y)U_{22} \quad (7)$$

负责人选择推进合作策略复制动态方程 2:

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(1-y)[x(R_{22} + P_2) + z(E_2 + N_2) - C_2] \quad (8)$$

当复制动态方程等于 0 时,解可能是系统均衡点,故令 $F(y) = 0$ 。

①当 $x = x_1 = \frac{C_2 - z(E_2 + N_2)}{R_{22} + P_2}$ 时, $F(y) \equiv 0$, 表示对于任何 y 值,系统处于稳定状态。无论负责人选择推进合作或不推进合作,其策略均不改变。

②当 $x \neq \frac{C_2 - z(E_2 + N_2)}{R_{22} + P_2}$ 时, $y = 0$ 与 $y = 1$ 是博弈系统可能的均衡状态点。只有当 $\frac{dF(y)}{dy} < 0$ 时,该点才是 ESS。对 $F(y)$ 求导可得: $\frac{dF(y)}{dy} = (1-2y)[z(E_2 + N_2) + x(R_{22} + P_2) - C_2]$ 。此时有两种情况。

情况一:当 $0 < x < \frac{C_2 - z(E_2 + N_2)}{R_{22} + P_2}$ 时, $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=1} > 0$, $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=0} < 0$, 此时 $y=0$ 是负责人策略选择演化均衡点,即负责人倾向于选择不推进合作策略。

情况二:当 $\frac{C_2 - z(E_2 + N_2)}{R_{22} + P_2} < x < 1$ 时, $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=1} < 0$, $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=0} > 0$, 此时 $y=1$ 是科负责人策略选择演化均衡点,即负责人倾向于选择推进合作策略。

(三)科研人员的复制动态方程

对于科研人员而言,选择参与合作和不参与合作策略,期望收益分别为 U_{31} 和 U_{32} ,平均收益为 U_3 。

$$U_{31} = yR_{32} + xR_{32} + xR_{31} + E_3 - C_3 - P_3 - xyR_{32} + yP_3 \quad (9)$$

$$U_{32} = yR_{32} + xR_{32} - P_3 - xyR_{32} \quad (10)$$

$$U_3 = zU_{31} + (1-z)U_{32} \quad (11)$$

科研人员选择参与合作策略复制动态方程 3:

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(1-z)[xR_{31} + yP_3 + E_3 - C_3] \quad (12)$$

当复制动态方程等于 0 时,解可能为系统均衡点,故令 $F(z) = 0$ 。

①当 $y = y_1 = \frac{C_3 - E_3 - xR_{31}}{P_3}$ 时, $F(z) \equiv 0$,

表示对于任何 z 值, 博弈系统都处于稳定状态。此时无论科研人员选择参与合作或不参与合作, 其策略均不发生改变。

②当 $y \neq \frac{C_3 - E_3 - xR_{31}}{P_3}$ 时, $z = 0$ 与 $z = 1$ 是

博弈系统可能均衡状态点。只有当 $\frac{dF(z)}{dz} < 0$ 时,

才是 ESS。对 $F(z)$ 求导可得: $\frac{dF(z)}{dy} = (1 - 2z)[E_3 + yP_3 + xR_{31} - C_3]$ 。此时有两种情况。

情况一: 当 $0 < y < \frac{C_3 - xR_{31} - E_3}{P_3}$ 时,

$\frac{dF(z)}{dz}|_{z=1} > 0, \frac{dF(z)}{dz}|_{z=0} < 0$, 此时 $y=0$ 是科研人员策略选择均衡点, 即科研人员倾向于选择不参与合作策略。

情况二: 当 $\frac{C_3 - xR_{31} - E_3}{P_3} < y < 1$ 时,

$\frac{dF(z)}{dz}|_{z=1} < 0, \frac{dF(z)}{dz}|_{z=0} > 0$, 此时 $y=1$ 是科研人员策略选择均衡点, 即科研人员倾向于选择参与合作策略。

(四) 三方演化博弈模型均衡策略分析

博弈模型共有 8 个均衡点: $(0,0,0)$ 、 $(0,0,1)$ 、 $(0,1,0)$ 、 $(0,1,1)$ 、 $(1,0,0)$ 、 $(1,0,1)$ 、 $(1,1,0)$ 、 $(1,1,1)$ 。此时, 雅克比矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} (1-2x)[z(R_{11} - R_{31} + N_1) - yR_{22} - C_1] & y(1-y)(R_{22} + P_2) & z(1-z)R_{31} \\ x(1-x)(-R_{22}) & (1-2y)[z(E_2 + N_2) + x(R_{22} + P_2) - C_2] & z(1-z)P_3 \\ x(1-x)(R_{11} - R_{31} + N_1) & y(1-y)(E_2 + N_2) & (1-2z)[E_3 + yP_3 + xR_{31} - C_3] \end{bmatrix}$$

均衡点稳定性通过雅克比矩阵特征值分析^[28]。当全部的特征值都小于零时, 该均衡点是

博弈系统的演化稳定策略(ESS); 只要有一个特征值不小于零, 该均衡点都处于不稳定状态。

表 3 系统均衡点稳定性分析

均衡点	特征值		
	λ_1	λ_2	λ_3
$(0,0,0)$	$-C_1$	$-C_2$	$E_3 - C_3$
$(0,1,0)$	$-R_{22} - C_1$	C_2	$E_3 - P_3 - C_3$
$(0,0,1)$	$R_{11} - R_{31} + N_1 - C_1$	$E_2 + N_2 - C_2$	$C_3 - E_3$
$(0,1,1)$	$R_{11} - R_{31} - R_{22} + N_1 - C_1$	$C_2 - E_2 - N_2$	$C_3 - E_3 - P_3$
$(1,0,0)$	C_1	$R_{22} + P_2 - C_2$	$E_3 + R_{31} - C_3$
$(1,0,1)$	$C_1 - R_{11} + R_{31} - N_1$	$E_2 + N_2 + R_{22} + P_2 - C_2$	$C_3 - E_3 - R_{31}$
$(1,1,0)$	$R_{22} + C_2$	$C_2 - R_{22} - P_2$	$E_3 + P_3 + R_{31} - C_3$
$(1,1,1)$	$R_{31} - R_{11} - N_1 + R_{32} + C_1$	$C_2 - E_2 - N_2 - R_{22} - P_2$	$C_3 - E_3 - P_3 - R_{31}$

以均衡点 $(0,0,0)$ 为例, 当该点满足雅克比矩阵的特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 同时小于零, 即 $C_1 > 0, C_2 > 0, E_3 < C_3$ 时, 该均衡点为 ESS。结合现实情况, 平台付出成本、负责人付出成本等均大于零, 均衡点 $(0,1,0)$ 、 $(1,0,0)$ 、 $(1,1,0)$ 不稳定。

由于科研团队及科研人员存在学术交流与合作需求, 且平台的价值和使命就是提供学术交流与合作机会。为促进博弈系统可持续发展, 均衡点 $(1,1,1)$ 为最理想状态。此时, 平台、负责人、科研人员有着共同利益目标, 系统进入良性循环。故本文仅选择在均衡点 $(1,1,1)$ 下演化博弈系统进行演化路径和仿真分析。

四、仿真分析

(一) 基于系统动力学的仿真模型构建

系统动力学以复杂系统为研究对象, 结合反馈控制、结构、功能等方法, 借助计算机软件开展系统动态仿真。开辟了一个用实验仿真的办法进行社会科学研究新纪元^[29], 为不完全信息条件下演化博弈动态过程提供了一种有效手段, 成为研究复杂系统问题的主流工具。采用系统动力学对演化博弈进行分析。博弈系统中有学术社交网络平台、科研团队负责人、科研人员 3 个主体子系统。利用 Vensim 软件建立系统动力学模型, 如图 2 所示。

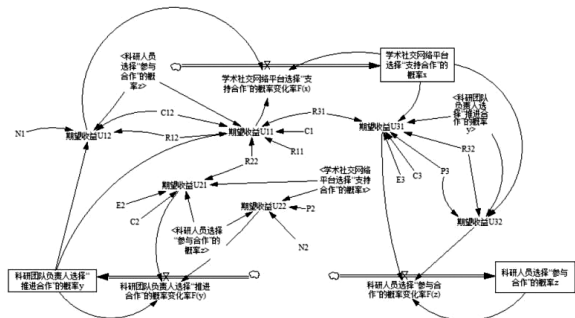


图 2 三方演化博弈系统动力学模型

学术社交平台、科研团队负责人、科研人员的策略选择是随时间变化的变量,作为模型流率变量,不同策略选择的收益作为模型辅助变量。综上,确定学术社交网络科研团队合作行为三方演化博弈系统基本结构的三组流位、流率对。

(二) 初始策略仿真分析

对均衡稳定策略(支持合作,推进合作,参与合作)进行分析。在系统初始状态下, $C_1 = 0.7, R_{12} = 0.8, C_{12} = 0.6, R_{11} = 1, N_1 = 0.3, C_2 = 0.5, R_{22} = 0.2, E_2 = 0.3, N_2 = 0.2, P_2 = 0.2, C_3 = 0.3, R_{32} = 0.4, R_{31} = 0.1, P_3 = 0.4$ 。探究各主体初始策略选

择对系统演化结果影响,如图3所示。分别选取各主体的初始策略为0.2,0.5,0.8。由图3可知,平台、负责人、科研人员在三种不同初始策略情况下,在系统演化稳定状态前其策略选择不断调整但不会完全重合。此外,各主体在不同初始策略下,系统最终到达演化稳定状态的时间不一样,初始策略越接近均衡点,系统演化至稳定状态的时间越短,这说明演化稳定策略受到参与主体初始策略的影响。因此,为使科研团队更好地使用学术社交网络开展学术交流与合作,尽可能提高各方的初始策略选择概率。

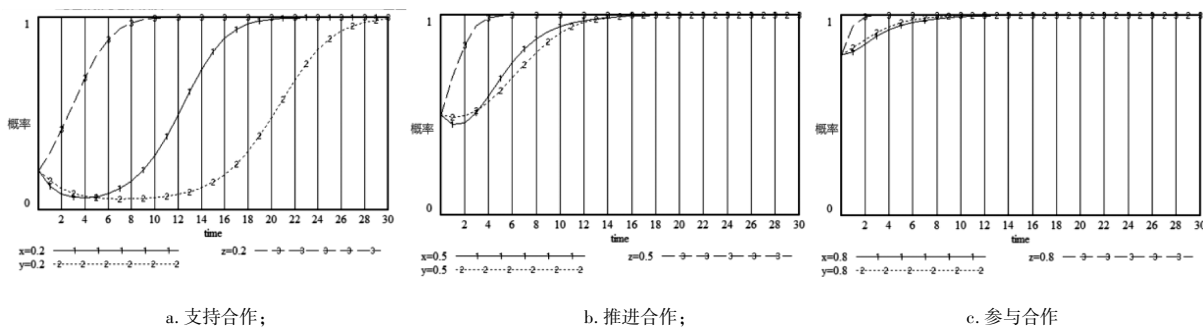


图3 初始策略对演化结果影响

(三) 系统参数敏感性仿真分析

系统参数敏感性分析有利于进一步理解该博弈系统的机制。只有当各主体选择(支持合作,推进合作,参与合作)所获得收益大于付出成本,系统才会演化至理想的稳定状态。因此,本文改变系统各参数分析其对演化结果影响,为方便研究,将平台、负责人、科研人员三方选择(支持合作,推进合作,参与合作)的初始策略概率均设置为0.5。

1. 学术社交平台相关参数敏感性分析

(1) 参数 C_1 敏感性分析

对参数 C_1 分别取值0.6,0.7,0.8研究其对博弈系统演化的影响。由图4可知,随着 C_1 的取值增加0.1,系统演化至(1,1,1)的趋势会变慢;当 C_1 的取值减少0.1,系统演化至(1,1,1)的趋势会变快。可知平台选择支持合作策略行为受到参数 C_1 的影响。

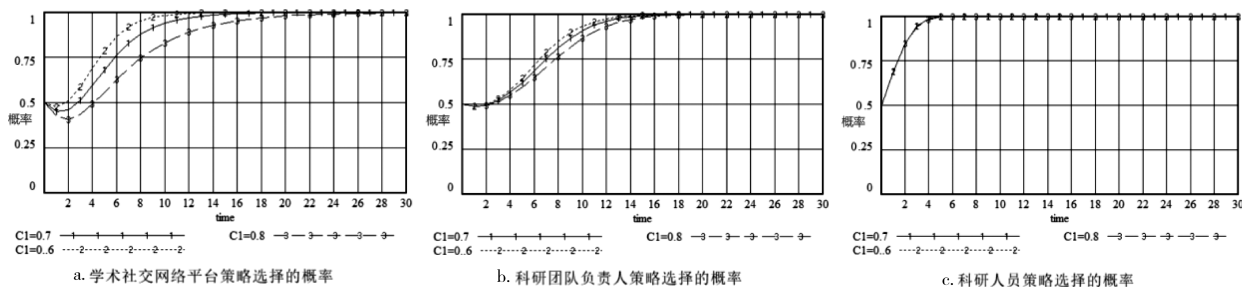


图4 参数 C_1 对演化结果影响

(2) 参数 R_{11} 敏感性分析

对参数 R_{11} 分别取值0.9,1.0,1.1研究其对博弈系统演化的影响。由图5可知,随着 R_{11} 的取值增加

0.1,系统演化至(1,1,1)的趋势会变快;当 R_{11} 的取值减少0.1,系统演化至(1,1,1)的趋势会变缓慢。平台选择支持合作策略行为受到参数 R_{11} 的影响。

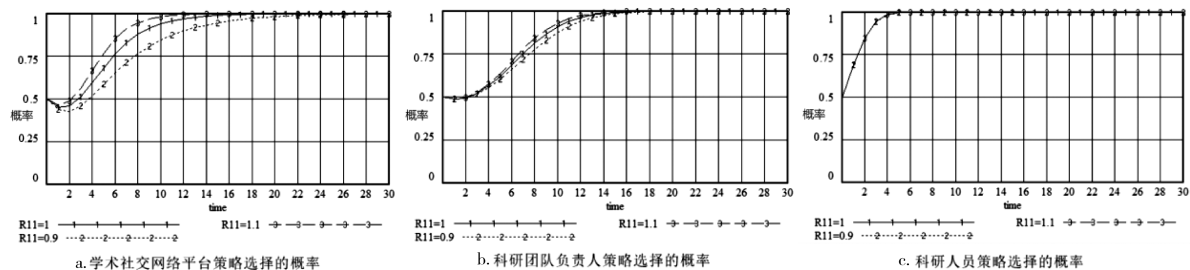


图 5 参数 R_{11} 对演化结果影响

(3) 参数 N_1 敏感性分析

对参数 N_1 分别取值 0.2, 0.3, 0.4 研究其对博弈系统演化的影响。由图 6 可知, 随着 N_1 的取值增加

0.1, 系统演化至 (1, 1, 1) 的趋势变快; 当 N_1 的取值减少 0.1, 系统演化至 (1, 1, 1) 的趋势变缓。平台选择支持合作策略行为受到其参数 N_1 的影响。

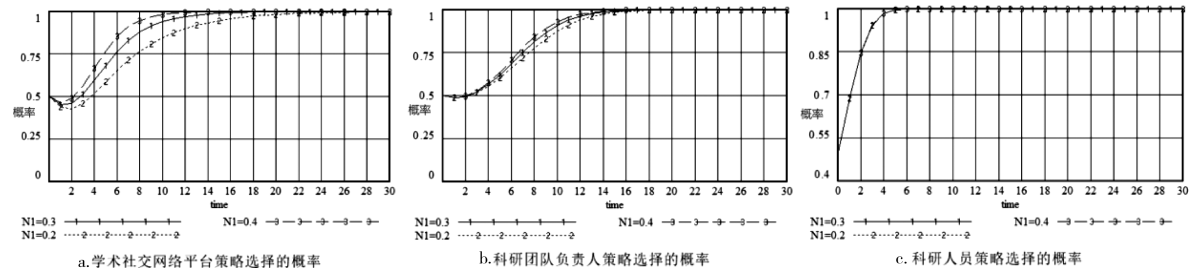


图 6 参数 N_1 对演化结果影响

2. 科研团队负责人相关参数敏感性分析

(1) 参数 C_2 敏感性分析

对参数 C_2 分别取值 0.4, 0.5, 0.6 研究其对博弈系统演化的影响。由图 7 可知, 随着 C_2 的取值

增加 0.1, 负责人选择推进合作趋势变缓; 当 C_2 的取值减少 0.1, 负责人选择推进合作趋势变快。可知, 负责人选择推进合作策略行为受到参数 C_2 的影响。

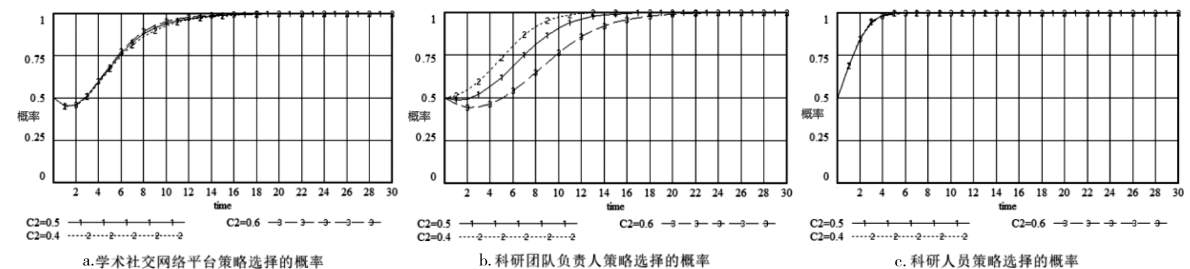


图 7 参数 C_2 对演化结果影响

(2) 参数 R_{22} 敏感性分析

对参数 R_{22} 分别取值 0.1, 0.2, 0.3 研究其对博弈系统演化的影响。由图 8 可知, 随着 R_{22} 的取值增加

0.1, 负责人选择推进合作的趋势变快; 当 R_{22} 的取值减少 0.1, 负责人选择推进合作的趋势变缓。可知, 负责人选择推进合作策略行为受到参数 R_{22} 的影响。

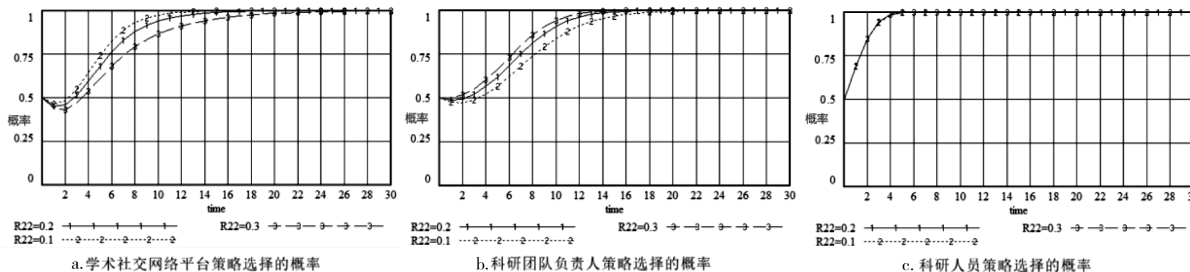


图 8 参数 R_{22} 对演化结果影响

(3) 参数 E_2 敏感性分析

对参数 E_2 分别取值 0.2, 0.3, 0.4 研究其对博弈系统演化的影响。由图 9 可知, 随着 E_2 的取值增加 0.1, 负责人选择推进合作的趋势变快; 当 E_2 的取值减少 0.1, 研团队负责人选择推进合作的趋势变缓。可知, 负责人选择推进合作策略行为受到参数 E_2 的影响。

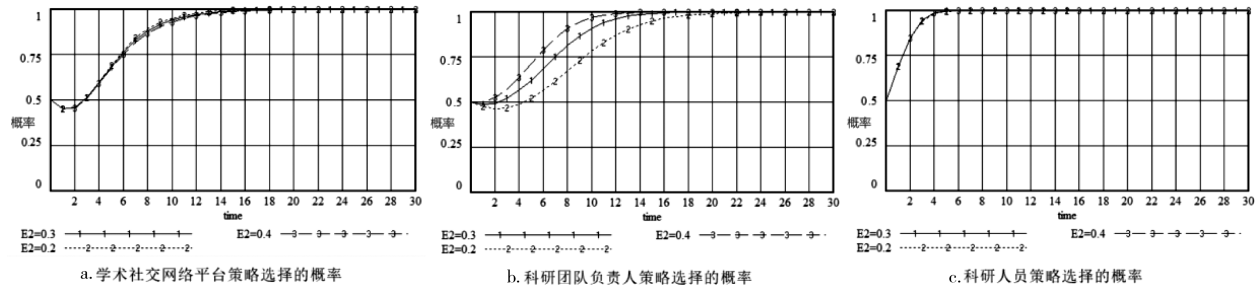


图 9 参数 E_2 对演化结果影响

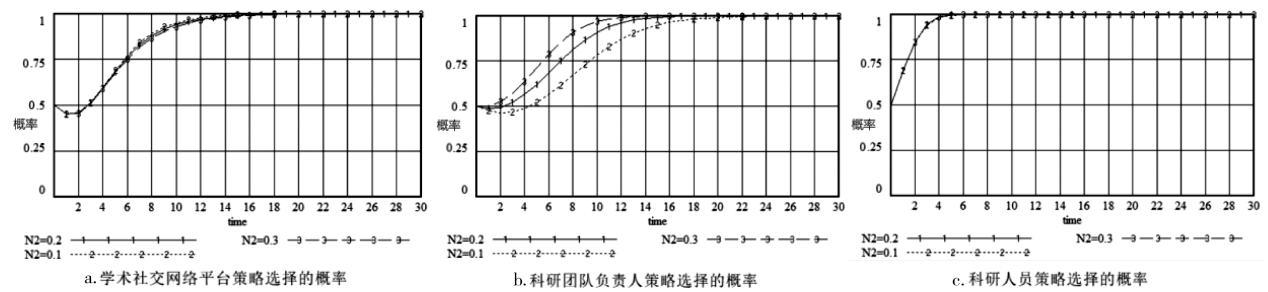


图 10 参数 N_2 对演化结果影响

(5) 参数 P_2 敏感性分析

对参数 P_2 分别取值 0.1, 0.2, 0.3 研究其对博弈系统演化的影响。由图 11 可知, 随着 P_2 的取值增加

0.1, 负责人选择推进合作的趋势变快; 当 P_2 的取值减少 0.1, 负责人选择推进合作的趋势变缓。可知, 负责人选择推进合作策略行为受到参数 P_2 的影响。

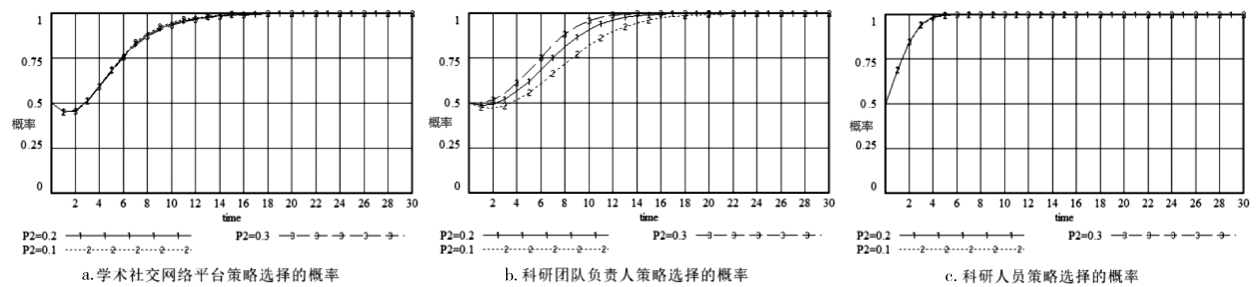


图 11 参数 P_2 对演化结果影响

3. 科研人员相关参数敏感性分析

(1) 参数 C_3 敏感性分析

对参数 C_3 分别取值 0.2, 0.3, 0.4 研究其对博弈系统演化的影响。由图 12 可知, 随着 C_3 的取值

增加 0.1, 系统演化至 (1, 1, 1) 的趋势变缓; 当 C_3 的取值减少 0.1, 系统演化至 (1, 1, 1) 的趋势变快。可知, 科研人员选择参与合作策略行为受到参数 C_3 的影响。

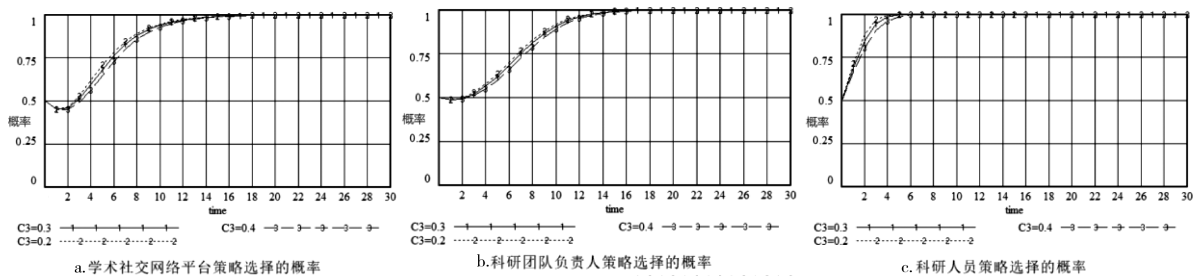


图 12 参数 C_3 对演化结果影响

(2) 参数 E_3 敏感性分析

对参数 E_3 分别取值 0.7, 0.8, 0.9 研究其对博弈系统演化的影响。由图 13 可知, 随着 E_3 的取值增加

0.1, 系统演化至 (1, 1, 1) 的趋势变快; 当 E_3 的取值减少 0.1, 系统演化至 (1, 1, 1) 的趋势变缓。可知, 科研人员选择参与合作策略行为受到参数 E_3 的影响。

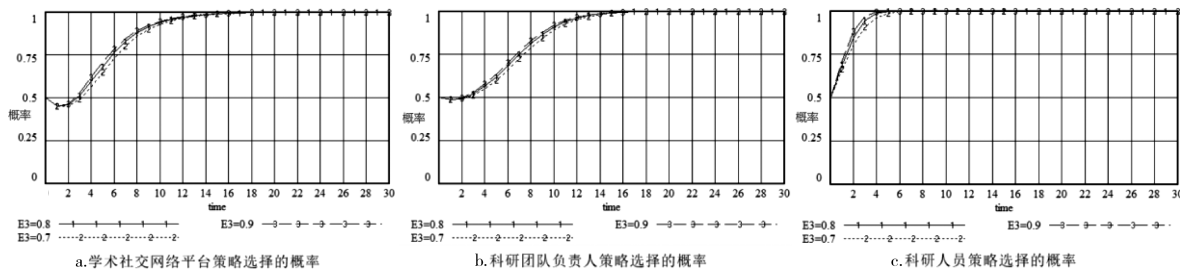


图 13 参数 E_3 对演化结果影响

(3) 参数 R_{31} 敏感性分析

对参数 R_{31} 分别取值 0.1, 0.2, 0.3 研究其对博弈系统演化的影响。由图 14 可知, 随着 R_{31} 的取值增加 0.1, 科研人员选择参与合作的趋势变快; 当 R_{31} 的取值减少 0.1, 科研人员选择参与合作的趋势变缓。可知, 科研人员选择参与合作策略行为受到参数 R_{31} 的影响。

(4) 参数 P_3 敏感性分析

对参数 P_3 分别取值 0.3, 0.4, 0.5 研究其对博弈系统演化的影响。由图 15 可知, 随着 P_3 的取值增加 0.1, 科研人员选择参与合作的趋势变快; 当 P_3 的取值减少 0.1, 科研人员选择参与合作的趋势变缓。由此可知, 科研人员选择参与合作策略行为受到参数 P_3 的影响。

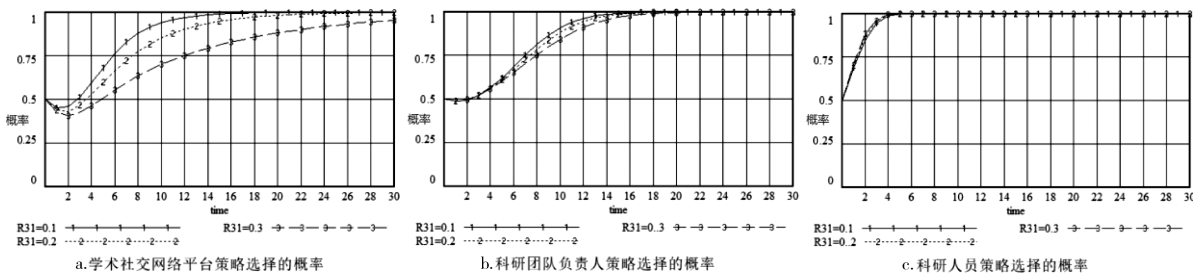


图 14 参数 R_{31} 对演化结果影响

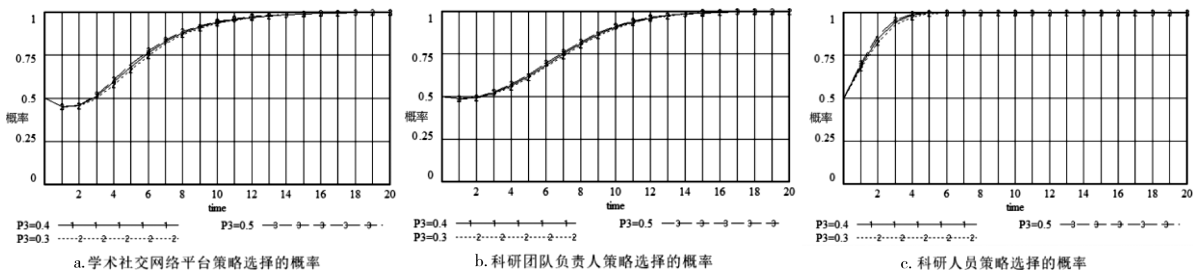


图 15 参数 P_3 对演化结果影响

五、结论与建议

(一) 研究结论

本文从收入与成本角度,结合演化博弈理论,构建学术社交网络平台、科研团队负责人、科研人员三方的演化博弈模型,并结合 Vensim 软件对博弈系统的初始策略选择和系统参数敏感性进行详细的仿真分析。

(1) 参数主体初始策略选择显著影响博弈系统演化趋势。比较三组不同初始策略选择的结果可知,系统动态博弈过程中,参与主体会不断调整自己的策略选择,当其初始策略选择概率越接近均衡点,系统演化至均衡点的趋势越快。因此,系统的演化稳定状态取决于参与主体的初始策略选择,要使学术社交网络科研团队合作行为进入良性循环状态,关键在于如何提升学术社交网络平台、科研团队负责人和科研人员初始策略选择概率。

(2) 参与主体的成本与收益是影响博弈系统演化趋势的重要因素。对学术社交网络平台、科研团队负责人和科研人员三个子系统参数的敏感性分析可知,各主体付出成本(C_1, C_2, C_3)与系统演化至均衡点的趋势成负相关,各主体获得收益($R_{11}, N_1, E_2, N_2, E_3, P_3$)与系统演化至均衡点的趋势成正相关。因此,降低参与主体的成本和提升参与主体的收益可以加速系统演化至(支持合作,推进合作,参与合作)。

(3) 学术社交网络平台的奖惩措施是影响科研团队负责人和科研人员参与合作的重要因素。通过系统敏感性参数分析可知,科研团队负责人和科研人员选择(推进合作,参与合作)获得学术社交网络平台的奖惩(R_{22}, R_{31}, P_2)与其选择策略选择成正相关。因此,学术社交网络平台合理地制定奖惩措施可以促进系统演化至(支持合作,推进合作,参与合作)。

(二) 建议

本文运用演化博弈理论对学术社交网络科研团队合作行为进行分析,并结合系统动力学对演化稳定策略(支持合作,推进合作,参与合作)下的系统各参数进行仿真分析,根据上述结论提出相应的建议。

(1) 学术社交网络平台优化合作功能服务与机制。从结论 1 可知,学术社交网络科研团队合作

行为博弈系统的演化趋势受到各主体初始策略的影响,促进系统演化至(支持合作,推进合作,参与合作)的稳定状态,提高各主体初始策略选择是关键。首先,完善学术交流与合作功能,满足科研团队的学术合作需求,如优化建立群组功能,使科研团队能在学术社交网络建立学术群组以此增强交流与合作;其次,采取适当的营销措施,通过老用户拉新用户、邮件推广等方式吸引科研团队使用学术社交网络进行合作;最后,及时清退“搭便车”等行为的科研团队成员,对不在平台上贡献的科研人员要及时清理。据此提升参与主体初始策略选择的概率,使系统尽快达到演化稳定策略。

(2) 促进各参与主体的利益最大化。结论 2 可知,各参与主体的成本与收益是博弈系统演化稳定策略的关键,因此需多方合作,促使其利益最大化。首先,政府部分可以对学术社交网络平台进行补贴,目前国家大力提倡学术合作,急需搭建支持学术合作的平台,增加平台收益降低成本,促使学术社交网络平台选择“支持合作”策略;其次,平台完善学术合作的环境与氛围,如设置趣味性的知识游戏等,鼓励科研团队和科研人员借此获得更多的学术知识。

(3) 学术社交网络平台制定合理的奖惩措施。从博弈结果和仿真分析来看,奖惩措施对科研团队负责人和科研人员有明显影响。一方面,学术社交网络平台应该制定科学的奖励措施,对积极参与合作和推进合作的科研人员 and 科研团队负责人进行奖励,营造良好的合作氛围。另一方面,通过惩罚措施约束科研团队负责人的行为,科研团队负责人是整个科研团队的主心骨,对科研团队负责人消极行为进行惩罚,促进学术社交网络科研团队合作行为的良性循环。

本文基于演化博弈理论对学术社交网络科研团队合作行为博弈系统简化为学术社交网络平台、科研团队负责人和科研人员 3 个行为主体,结合复制动态方程构建三方演化博弈模型,深入分析各主体策略选择的演化路径,并基于系统动力学进行仿真。创新之处体现在:将学术社交网络平台作为博弈主体引入到了基于学术社交网络科研团队合作行为博弈系统中,并探究了影响系统稳定演化策略的因素,提出相应的建议,促进三方

演化博弈系统(支持合作,推进合作,参与合作)演化稳定策略的实现。

参考文献:

- [1] 谭春辉,梁远亮,魏温静. 虚拟学术社区中科研人员合作影响因素组态分析[J]. 情报理论与实践,2022,45(4): 128-136,127.
- [2] 王仙雅. 虚拟学术社区促进科研合作形成的内在机理:一项扎根理论研究[J]. 科技进步与对策,2019,36(21):19-25.
- [3] 庞建刚,吴佳玲. 基于 SFA 方法的虚拟学术社区知识交流效率研究[J]. 情报科学,2018,36(5):104-109.
- [4] 谭春辉,王仪雯,曾奕棠. 虚拟学术社区科研团队合作行为的三方动态博弈[J]. 图书馆论坛,2020,40(2):1-9.
- [5] 谭春辉,郭洋,王仪雯,等. 基于博弈的生命周期视角下虚拟学术社区科研合作行为选择研究[J]. 现代情报,2020,40(5):51-57,87.
- [6] 郑颖,王焱弘. 基于领域热点的中外科研社交网络功能建设研究[J]. 知识管理论坛,2018,3(2):73-84.
- [7] 许志敏. 提高我国学术社交网络的国际传播能力:基于 ResearchGate 与“科研之友”等的比较研究[J]. 科技与出版,2018,36(7):26-32.
- [8] BULLINGER A C, HALLERSTEDE S H, RENKEN U, et al. Towards research collaboration-a taxonomy of social research network Sites [C]//Sustainable IT Collaboration Around the Globe. 16th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2010, Lima, Peru, August 12-15, 2010. Illinois: AIS Electronic Library, 2010:1-9.
- [9] DENF S, TONG J, LIN Y, et al. Motivating scholars' responses in academic social networking sites: An empirical study on ResearchGate Q&A behavior [J]. Information Processing & Management, 2019, 55(6):102082. 1-102082. 13.
- [10] RODRIGUES M W, BRANDO W C, ZARATE L E. Recommending scientific collaboration from ResearchGate [C]// 2018 7th Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS). Sao Paulo: IEEE, 2018: 336-341.
- [11] YAN W, ZHANG Y, BROMFIELD W. Analyzing the follower-followee ratio to determine user characteristics and institutional participation differences among research universities on ResearchGate [J]. Scientometrics,2018(115):299-316.
- [12] 谭春辉,魏温静. 学者在学术博客与学术期刊中的科研合作对比研究:以情报学领域为例[J]. 情报资料工作,2020,41(6):71-78.
- [13] 熊回香,杨雪萍,蒋武轩,等. 基于学术能力及合作关系网络的学者推荐研究[J]. 情报科学,2019,37(5):71-78.
- [14] 李蕾. 学术型社会化问答平台上答案质量评估研究 [D]. 南京:南京理工大学,2018.
- [15] 刘虹,李煜. 学术社交网络用户使用动机与功能采纳的特征构成及关联分析[J]. 图书馆学研究,2020,38(6):78-87,70.
- [16] 代君,郭世新. 协同信息搜索行为的触发情景因素探析:基于高校学生个人信息搜索失败情景[J]. 图书情报知识,2016,33(5):62-72.
- [17] HAMMOOK Z, MISIC J, MISIC V B. Student/supervisor collaboration and usage patterns of publications available on ResearchGate [C]// Wireless Communications & Networking Conference. Doha: IEEE, 2016:1-5.
- [18] 赵君,廖建桥. 科研合作研究综述[J]. 科学管理研究,2013,31(2):117-120.
- [19] REDDY M C, JANSEN B J. A model for understanding collaborative information behavior in context: a study of two healthcare teams[J]. Information processing & management, 2008, 44(1):256-273.
- [20] 金燕,李昱瑶. 科研团队成员的协同信息行为模型 [J]. 情报理论与实践,2015,38(9):86-90.
- [21] EBRAHIMZADEH S, SHARIFABADI S R, KAMRAN M, et al. Triggers and strategies related to the collaborative information-seeking behaviour of researchers in ResearchGate [J]. Online information review, 2020, 44(5):1077-1096.
- [22] 屈宝强. 网络学术论坛中的科研合作行为及其反思:以“小木虫”学术论坛为例[J]. 科技管理研究,2010,30(10):215-218.
- [23] 严炜炜. 科研合作中的信息需求结构与协同信息行为 [J]. 情报科学,2016,34(12):11-16.
- [24] 张耀坤,吴瑞,汪朝州. 我国本土学术社交网络科研之友的个案分析:困境与对策[J]. 高校图书馆工作,2022,42(1):55-60.
- [25] 张宁,袁勤俭. 学术社交网络信息质量的治理和提升 [J]. 图书情报工作,2019,63(23):79-86.
- [26] JAKOB N. Participation in equality: encouraging more users to contribute [EB/OL]. [2024-03-20]. <http://www.nngroup.com/articles/participation-inequality>.
- [27] 谭春辉,王仪雯,曾奕棠. 激励机制视角下虚拟学术社区科研人员合作的演化博弈研究[J]. 现代情报,2019,39(12):64-71.
- [28] FRIEDMAN. On economic applications of evolutionary game theory[J]. Journal of evolutionary economics, 1998, 8(1):15-43.
- [29] 贾伟强. 系统动力学 [M]. 北京:科学出版社,2020:160.

(本文责编:默 黎)