

# 三元主体交互视角下 元宇宙产业发展的演化博弈研究

黄晓红, 张倩, 李思琦

郑州轻工业大学 经济与管理学院, 河南 郑州 450001

**摘要:** 元宇宙产业的健康良性发展需要不同层级多元主体的协同参与。基于政府、企业、用户三元主体交互视角, 构建元宇宙产业发展的演化博弈模型, 研究不同条件下各主体的演化稳定策略, 分析相关要素对主体策略选择的影响, 结果表明: 降低政府的扶持成本并提高社会收益, 有助于鼓励政府选择扶持策略; 降低企业的参与成本并提高未来收益前景将推动企业选择参与策略; 隐私泄露损失的减少和优惠补贴的增加, 有助于促使用户选择使用策略。为促进元宇宙产业持续健康发展, 应制定清晰的战略, 建立元宇宙生态体系; 加强政策激励与引导, 提升企业的信心效应; 完善监管体系, 保障产业的健康发展; 调动用户参与积极性, 助力产业持续发展。

**关键词:** 元宇宙; 产业发展; 三方演化博弈

**中图分类号:** F49 **文献标识码:** A **DOI:** 10.12186/2024.02.006

**文章编号:** 2096-9864(2024)02-0048-11

元宇宙作为新一代信息技术集成与融合的产物, 以高新技术为基础, 赋能数字经济的高质量发展, 应用前景广阔, 成为我国战略性新兴产业的重要组成部分<sup>[1]</sup>。习近平总书记强调在新一轮科技革命和产业变革的契机中, 发展数字经济至关重要, 是国家的发展战略选择<sup>[2]</sup>。《“十四五”数字经济发展规划》中对数字经济的发展作出了具体指导, 其中创新发展云游戏、互动与沉浸式视频等新业态, 深度整合人工智能与虚拟现实等技术, 扩大人们社交、购物和娱乐等方面的应用场景, 提高人们的生活和消费品质, 这些内容均涉及元宇宙产业。与此同时,

我国工信部强调要加大推进中小企业数字化转型力度, 重点培育涉足元宇宙或区块链与人工智能等领域的创新型企业。元宇宙产业未来发展前景广阔, 彭博行业研究院估算, 两年后元宇宙的市场规模将会增加至 8000 亿美元; 普华永道更进一步预计, 8 年后即到 2030 年时, 其市场规模将扩大至 15 000 亿美元<sup>[3]</sup>。

面对如此庞大的市场, 在国外知名公司创新元宇宙新业态的同时, 我国也积极探索元宇宙产业的发展路径, 腾讯、百度等科技巨头都在对元宇宙产业进行全方位的布局<sup>[4-5]</sup>。多地政府为助力元宇宙产业的发展, 在政策制定、资金

收稿日期: 2023-09-24

基金项目: 国家社科基金项目(21CJL006); 河南省软科学研究重点项目(222400410004); 河南省高等学校哲学社会科学应用研究重大项目(2023-YYZD-28)

作者简介: 黄晓红(1967—), 女, 湖北省建始县人, 郑州轻工业大学教授, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向: 数字经济和互联网金融。

扶持、配套基础设施、税收减免等方面做了大量工作。2022年10月,国内首家以元宇宙数字艺术为方向的产学研合作平台在广东省成立;《河南省元宇宙产业发展行动计划2022—2025》指出,到2025年元宇宙核心产业规模超过300亿元;上海市发布的《宝山区工业元宇宙产业发展三年行动计划》指出,到2025年元宇宙相关产业规模突破100亿元。

元宇宙产业能否获得足够的市场空间,取决于其应用能否顺应用户的需求,这是元宇宙产业发展中的关键问题<sup>[6]</sup>。元宇宙产业的健康可持续发展,需要政府、企业、用户三大主体的共同参与。从参与主体的视角探究各方行为策略选择对其发展的影响,能进一步引导政府、企业、用户共同参与元宇宙产业建设,加快实现产业的平稳发展,同时推动其他战略性新兴产业发展。

## 一、文献综述

战略性新兴产业是依托于关键技术突破以及市场发展需求,引导国民经济和社会全面可持续发展的产业<sup>[7]</sup>,属于资源消耗低、成长潜力大、综合效益好的知识技术密集型产业<sup>[8]</sup>。

元宇宙作为战略性新兴产业,目前学术界对于其概念尚未形成共识。从语义结构上看,元宇宙是一个超现实世界的虚拟世界,其形成离不开新技术、数字虚拟和现实世界的映射等重要因素<sup>[9]</sup>。从技术层面上看,元宇宙作为一个终极数字媒介,是对当前和将来所有数字技术的集成与整合<sup>[10]</sup>。从属性上看,元宇宙是一个虚拟世界,其平行于现实世界且能够与其实实现互动,具有不完全契约的特征<sup>[11]</sup>;它是社会信息化与虚拟化发展的必然趋势,是互联网技术发展进入到最后阶段的产物<sup>[12]</sup>,具有文明性和交融性的特征<sup>[13]</sup>。

元宇宙的发展应用将实现物理空间、心理空间、数字空间“三元融合”的创新体验,重构

“人、货、场”的消费供给方式,推动虚与实、线上与线下、人工智能与人主智能的有机融合<sup>[14]</sup>。在元宇宙的作用下,生产者和消费者能够实现实时交流,在范围经济和网络的正外部性作用下扩大消费者规模和生产规模,实现经济效益持续增长,在实现对移动互联网产业结构和数字经济结构重塑的同时,对于包含工业经济在内的整个经济体系将产生根本性影响<sup>[15]</sup>。

在新兴技术演化为新兴产业的过程中,政府出台的政策和法规可以引导产业发展方向和发展速度。研究表明,政府通过政策导向能够为企业外部资源,促使与其内部资源形成耦合效应,助推新兴产业快速发展<sup>[16]</sup>。有利的产业政策是新兴产业持续发展壮大的重要因素<sup>[17]</sup>,政府的产业政策支持能够增强企业的“信心效应”,从而促进企业研发投入的增加<sup>[18]</sup>,提高企业的创新绩效。众多研究表明,政府的补助资金有助于降低企业研发投入的成本和风险<sup>[19-20]</sup>,增强企业投入研发的积极性<sup>[21]</sup>和盈利能力<sup>[22-23]</sup>,拓展产业发展的布局<sup>[24]</sup>。然而政府高强度的补贴则会产生“挤出效应”,由此抑制企业研发创新的积极性<sup>[25-26]</sup>,使其对政府资源产生过度的依赖性<sup>[27]</sup>,政府补贴可能被挪作他用<sup>[28]</sup>。受成本、声誉和社会收益等多种因素影响,在不同条件下,政府会选择不同的策略,以推动产业的发展<sup>[29]</sup>。

作为元宇宙产业发展的重要参与者,企业不仅是为了迎合市场趋势,更是为了在激烈的市场竞争中脱颖而出,其策略选择影响着市场竞争和服务质量<sup>[30]</sup>。进入新兴产业通常需要企业投入大量资源,包括技术研发、内容创作、人才招聘等<sup>[31]</sup>。企业的策略选择往往取决于其潜在收益,如果预期收益较高,企业更愿意投入资源并采取积极的竞争策略,以争取市场份额,反之则倾向于保持观望的态度。然而市场环境复杂多变,新技术和新产品不断涌现,观望

虽有助于企业更好地把握市场发展趋势和竞争格局,但也会使企业错失关键时机。

用户是元宇宙生态系统的核心组成部分,其行为选择对产业的发展至关重要。使用收益是用户参与元宇宙的主要动机,而用户的选择往往取决于其对使用收益的期望和满足程度。与此同时,安全性和隐私保护问题对用户的决策也发挥着关键影响。为鼓励用户积极参与,政府和企业一方面会通过提供各种优惠补贴和奖励,以降低其使用成本;另一方面会通过制定监管政策、提高服务质量,以确保数据安全,从而增强用户的信任。

整体而言,虽然我国在元宇宙产业的研究方面取得了丰富成果,但在研究方法上和内容上仍存在局限性。目前,有关元宇宙发展的文献多侧重于应用场景和管理的研究,且多以理论分析为主,基于参与主体行为策略选择对其发展的影响的分析相对匮乏。鉴于此,本文拟从参与者的角度采用演化博弈的方法,探讨主体的策略选择对元宇宙产业发展的影响,构建政府、企业、用户三方演化博弈模型,探讨各主体的演化稳定策略,为促进三方主体利益合作和元宇宙产业的可持续发展提供对策建议。

## 二、研究假设与模型构建

### 1. 研究假设

本文选择三个参与主体,政府为参与主体1,企业为参与主体2,用户为参与主体3,三方均为有限理性主体,据此提出如下假设。

**假设 1:** 政府的策略空间  $S_1 = (\text{扶持}, \text{等待})$ , 政府扶持是指政府通过政策补贴、提供相关基础网络服务、推广宣传等方式促进元宇宙产业的发展;政府等待是指政府对元宇宙产业持观望态度,未出台相关扶持政策;选择扶持策略的概率为  $x$ , 选择等待策略的概率为  $1 - x$ ,  $0 \leq x \leq 1$ 。企业的策略空间  $S_2 = (\text{参与}, \text{观望})$ ,

企业参与是指企业革新传统经营方式,通过技术研发、人才培养等方式使企业融入元宇宙,开拓新领域;企业观望是指企业仍选择传统的经营方式;选择参与策略的概率  $y$ , 选择观望策略的概率为  $1 - y$ ,  $0 \leq y \leq 1$ 。用户的策略空间  $S_3 = (\text{使用}, \text{不使用})$ , 用户使用是指用户选择元宇宙提供的沉浸式体验方式,用户不使用是指用户继续选择传统体验方式;选择使用策略的概率为  $z$ , 选择不使用策略的概率为  $1 - z$ ,  $0 \leq z \leq 1$ 。

**假设 2:** 政府选择扶持策略的成本为  $C_1$ ; 给予参与企业政策红利为  $M_1$ , 包括研发资助、税收减免等;给予使用用户的优惠补贴为  $M_2$ 。政府选择等待策略时,若企业参与、用户使用,则政府的损失为  $L_1$ , 即政府缺乏前瞻性的声誉损失。

**假设 3:** 企业选择参与的成本为  $C_2$ ,  $C_2 > M_1$ , 包括人才培养、配套设施等,当用户使用时获得的收益为  $F_1$ , 给政府带来的社会效益为  $R_1$ 。企业观望获得的收益为  $F_2$ , 此时给政府带来的社会收益为  $R_2$ 。政府选择扶持时,则会制定有利于元宇宙产业发展的政策和法规,这可以为企业提供更稳定、透明的经营环境和更有吸引力的机会;若企业选择观望,则难以应对这些政策变化,面临市场份额、创新和竞争优势与合作机会丧失以及品牌和声誉问题等潜在损失为  $L_2$ 。政府等待时,企业选择观望,等待稳定的市场环境以降低不确定性风险。然而在竞争者更早地参与并获得市场份额和竞争优势的情况下,会导致企业错失一些市场机会,此时企业的潜在损失为  $L_3$ ,  $L_2 > L_3$ 。

**假设 4:** 用户选择使用策略的收益为  $U_1$ ; 隐私泄露的损失为  $L_4$ , 如个人信息泄露、社交隐私问题和位置数据泄露等,  $U_1 > L_4$ 。当企业革新传统经营方式,参与元宇宙产业,用户若不使用,将无法从企业的元宇宙参与中获得任何直接收益。企业观望时,用户不使用获得的传统收益为  $U_2$ 。

## 2. 模型构建

政府、企业、用户混合策略博弈矩阵见表 1。

表 1 政府、企业、用户混合策略博弈矩阵

策略选择		政府	
		扶持(x)	等待(1-x)
企业参与 (y)	用户使用 (z)	$R_1 - C_1 - M_1 - M_2$ $M_1 + F_1 - C_2$ $U_1 + M_2 - L_4$	$-L_1$ $F_1 - C_2$ $U_1 - L_4$
	用户不使用 (1-z)	$-C_1 - M_1$ $M_1 - C_2$ 0	0 $-C_2$ 0
企业观望 (1-y)	用户使用 (z)	$R_2 - C_1$ $F_2 - L_2$ 0	$R_2$ $F_2 - L_3$ 0
	用户不使用 (1-z)	$R_2 - C_1$ $F_2 - L_2$ $U_2$	$R_2$ $F_2 - L_3$ $U_2$

## 三、模型分析

### 1. 政府策略稳定性分析

政府扶持和等待的期望收益  $E_{11}$ 、 $E_{12}$  与平

均期望收益  $\bar{E}_1$  分别为:

$$E_{11} = yz(R_1 - C_1 - M_1 - M_2) + y(1-z)(-C_1 - M_1) + (1-y)z(R_2 - C_1) + (1-y)(1-z)(R_2 - C_1) \quad ①$$

$$E_{12} = yz(-L_1) + (1-y)zR_2 + (1-y)(1-z)R_2 \quad ②$$

$$\bar{E}_1 = xE_{11} + (1-x)E_{12} \quad ③$$

政府策略选择复制动态方程为:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_{11} - \bar{E}_1) = x(1-x)(-C_1 - M_1y + L_1yz - M_2yz + R_1yz) \quad ④$$

对  $F(x)$  关于  $x$  求导得:

$$\frac{dF(x)}{dx} = (1-2x)(-C_1 - M_1y + L_1yz - M_2yz + R_1yz) \quad ⑤$$

令  $G(z) = (-C_1 - M_1y + L_1yz - M_2yz + R_1yz)$ , 由  $G(z) = 0$  可得

$$z = \frac{M_1y + C_1}{(L_1 - M_2 + R_1)y} = z_0, F(x) \equiv 0$$

当  $z \neq \frac{M_1y + C_1}{(L_1 - M_2 + R_1)y}$  时, 令  $F(x) = 0$ ,

$x = 0$  或  $x = 1$ , 则

**推论 1:** 当  $z < z_0$  时, 政府的演化稳定策略为等待; 当  $z > z_0$  时, 政府的演化稳定策略为扶持。

**证明:** 由微分方程稳定性定理可知, 政府策略实施达到稳定状态需满足:  $F(x) = 0$ ,  $\frac{dF(x)}{dx} < 0$ 。求  $G(z)$  的导数得:  $dG(z)/dz = (L_1 - M_2 + R_1)y > 0$ 。因此  $G(z)$  是关于  $z$  的增函数。当  $z < z_0$  时,  $G(z) < 0$ ,  $dF(x)/dx|_{x=1} > 0$ ,  $dF(x)/dx|_{x=0} < 0$ , 此时  $x = 0$  为政府的演化稳定策略; 当  $z > z_0$  时,  $G(z) > 0$ ,  $dF(x)/dx|_{x=0} < 0$ ,  $dF(x)/dx|_{x=1} > 0$ , 此时  $x = 1$  为政府的演化稳定策略; 当  $z = z_0$  时,  $F(x) \equiv 0$ ,  $dF(x)/dx \equiv 0$ , 此时  $x$  无论取何值, 政府都处于演化稳定状态。

推论 1 表明: 政府的策略演化受企业和用户策略选择的共同影响。伴随用户使用元宇宙概率和企业参与元宇宙建设概率的提高, 政府将由等待策略向扶持策略演化; 反之, 将由扶持策略向等待策略演化。政府策略演化相位图见图 1。

由图 1 可知, 体积  $V_{11}$  为政府等待的概率, 体积  $V_{12}$  为政府扶持的概率。计算  $V_{11}$  和  $V_{12}$  的体积可得:

$$V_{11} = \frac{C_1}{L_1 - M_2 - M_1 + R_1} + \int_0^1 \int_{L_1 - M_2 - M_1 + R_1}^{\frac{M_1y + C_1}{(L_1 - M_2 + R_1)y}} \frac{M_1y + C_1}{(L_1 - M_2 + R_1)y} dy dx = \frac{C_1}{L_1 - M_2 - M_1 + R_1} + \frac{M_1}{L_1 - M_2 + R_1} \left( 1 - \frac{C_1}{L_1 - M_2 - M_1 + R_1} \right) - \frac{C_1}{L_1 - M_2 + R_1} \ln \frac{C_1}{L_1 - M_2 - M_1 + R_1} \quad ⑥$$

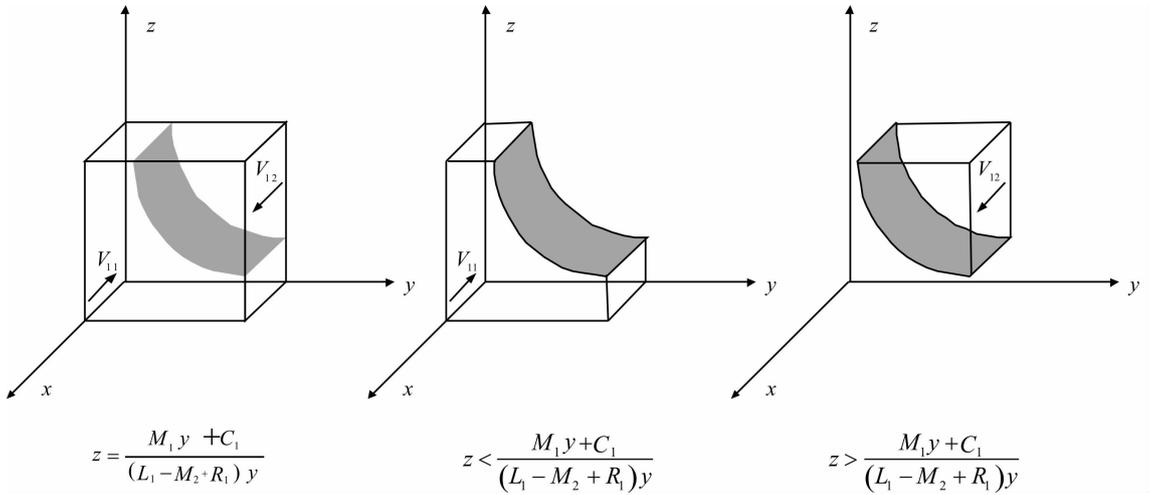


图1 政府策略演化相位图

$$\begin{aligned}
 V_{12} &= 1 - V_{11} = \\
 &1 - \frac{C_1}{L_1 - M_2 - M_1 + R_1} - \\
 &\frac{M_1}{L_1 - M_2 + R_1} \left( 1 - \frac{C_1}{L_1 - M_2 - M_1 + R_1} \right) + \\
 &\frac{C_1}{L_1 - M_2 + R_1} \ln \frac{C_1}{L_1 - M_2 - M_1 + R_1} \quad (7)
 \end{aligned}$$

**推论2:** 政府选择等待的概率与扶持成本  $C_1$ 、给予参与企业的政策红利  $M_1$ 、给予使用用户的优惠补贴  $M_2$  正相关; 与政府扶持时获得的社会效益  $R_1$ 、等待的损失  $L_1$  负相关。

**证明:** 根据政府等待的概率  $V_{11}$  的表达式, 求各要素的一阶偏导数, 得:  $\partial V_{11} / \partial C_1 > 0, \partial V_{11} / \partial M_1 > 0, \partial V_{11} / \partial M_2 > 0, \partial V_{11} / \partial L_1 < 0, \partial V_{11} / \partial R_1 < 0$ , 因此,  $V_{11}$  关于  $C_1, M_1, M_2$  为增函数, 关于  $L_1, R_1$  为减函数。

推论2表明: 当政府选择扶持付出的成本增大而获得的社会收益降低时, 会使得政府选择等待策略以使自身利益最大化; 同时政府在企业参与、用户使用的情况下选择等待策略给自身带来的声誉损失的减小, 也会促使政府选择等待策略。

## 2. 企业策略稳定性分析

企业参与的期望收益  $E_{21}$ 、不参与的期望收

益  $E_{22}$  和平均期望收益  $\bar{E}_2$  分别为:

$$\begin{aligned}
 E_{21} &= xz(M_1 + F_1 - C_2) + \\
 &x(1 - z)(M_1 - C_2) + (1 - x)z(F_1 - C_2) + \\
 &(1 - x)(1 - z)(-C_2) \quad (8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{22} &= xz(F_2 - L_2) + x(1 - z)(F_2 - L_2) + \\
 &(1 - x)z(F_2 - L_3) + (1 - x)(1 - z) \times \\
 &(F_2 - L_3) \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$\bar{E}_2 = yE_{21} + (1 - y)E_{22} \quad (10)$$

企业策略选择复制动态方程为:

$$\begin{aligned}
 F(y) &= \frac{dy}{dt} = y(E_{21} - \bar{E}_2) = \\
 &y(1 - y)(L_3 - F_2 - C_2 + F_1z + \\
 &L_2x - L_3x + M_1x) \quad (11)
 \end{aligned}$$

对  $F(y)$  关于  $y$  求导得:

$$\begin{aligned}
 \frac{dF(y)}{dy} &= (1 - 2y)(L_3 - F_2 - C_2 + \\
 &F_1z + L_2x - L_3x + M_1x) \quad (12)
 \end{aligned}$$

令  $G(x) = L_3 - F_2 - C_2 + F_1z + L_2x - L_3x + M_1x$ , 由  $G(x) = 0$  可得

$$x = \frac{F_2 + C_2 - L_3 - F_1z}{L_2 - L_3 + M_1} = x_0, F(y) \equiv 0$$

当  $x \neq \frac{F_2 + C_2 - L_3 - F_1z}{L_2 - L_3 + M_1}$  时, 令  $F(y) = 0$ ,

$y = 0$  或  $y = 1$ 。

**推论 3:**当  $x < x_0$  时,企业的演化稳定策略为观望;当  $x > x_0$  时,企业的演化稳定策略为参与。

**证明:**由微分方程稳定性定理可知,企业策略选择达到稳定状态需满足: $F(y) = 0, \frac{dF(y)}{dy} < 0$ 。求  $G_x$  的导数得: $dG(x)/dx = L_2 - L_3 + M_1 > 0$ ,因此  $G(x)$  是关于  $x$  的增函数。当  $x < x_0$  时, $G(x) < 0, dF(y)/dy|_{y=1} > 0, dF(y)/dy|_{y=0} < 0$ ,此时  $y = 0$  为企业的演化稳定策略;当  $x > x_0$  时, $G(x) > 0, dF(y)/dy|_{y=1} < 0, dF(y)/dy|_{y=0} > 0$ ,此时  $y = 1$  为企业的演化稳定策略;当  $x = x_0$  时, $F(y) \equiv 0, dF(y)/dy \equiv 0$ ,此时无论  $y$  取何值,企业都处于演化稳定状态。

推论 3 表明:企业的演化稳定策略受政府和用户策略选择的共同影响。随着用户对元宇宙的使用概率和政府扶持概率的提高,企业将由观望策略向参与策略演化;反之,将由参与策略向观望策略演化。企业策略演化相位图见图 2。

由图 2 可知,体积  $V_{21}$  为企业观望的概率,体积  $V_{22}$  为企业参与的概率。计算  $V_{21}$  和  $V_{22}$  的体积,可得:

$$V_{21} = \int_0^1 \int_0^1 \frac{F_2 + C_2 - L_3 - F_1 z}{L_2 - L_3 + M_1} dz dy =$$

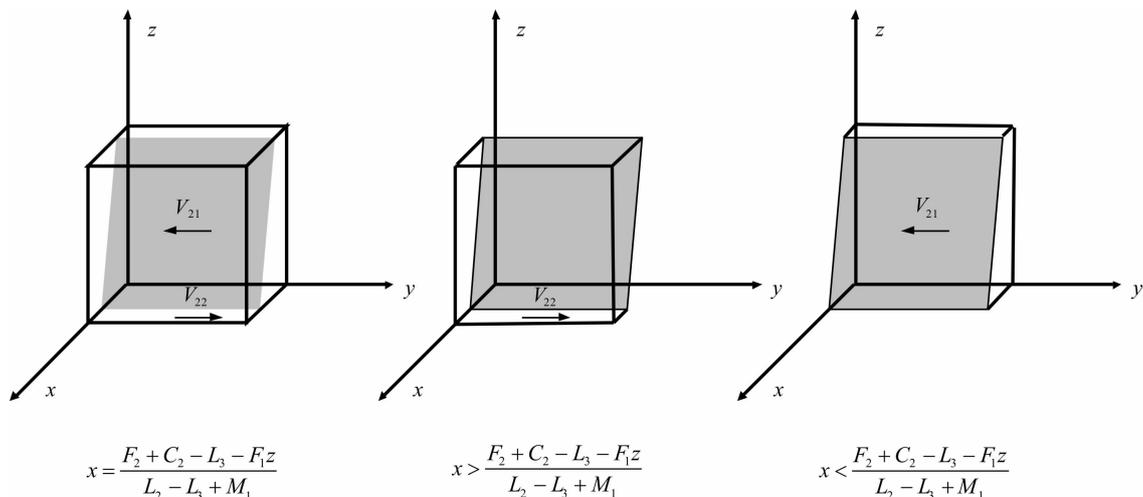


图 2 企业策略演化相位图

$$\frac{2F_2 + 2C_2 - 2L_3 - F_1}{2(L_2 - L_3 + M_1)} \tag{13}$$

$$V_{22} = 1 - \frac{2F_2 + 2C_2 - 2L_3 - F_1}{2(L_2 - L_3 + M_1)} \tag{14}$$

**推论 4:**企业选择观望的概率与观望收益  $F_2$ 、参与成本  $C_2$  正相关;与参与收益  $F_1$ 、获得的政策红利  $M_1$ 、政府扶持时观望的潜在损失  $L_2$  负相关;与政府不扶持时企业观望的潜在损失  $L_3$  的关系受多重因素的影响,当  $2F_2 - 2L_2 < F_1 - 2C_2 + 2M_1$  时,企业观望的概率与  $L_3$  负相关;反之,当  $2F_2 - 2L_2 > F_1 - 2C_2 + 2M_1$  时,企业观望的概率与  $L_3$  正相关。

**证明:**根据企业观望的概率  $V_{21}$  的表达式,求各要素的一阶偏导数得:

$$\partial V_{21} / \partial F_2 = \partial V_{21} / \partial C_2 = \frac{1}{L_2 - L_3 + M_1} > 0,$$

$$\partial V_{21} / \partial F_1 = -\frac{1}{2(L_2 - L_3 + M_1)} < 0$$

$$\partial V_{21} / \partial L_2 = \partial V_{21} / \partial M_1 = -\frac{2F_2 + 2C_2 - 2L_3 - F_1}{2(L_2 - L_3 + M_1)^2} < 0$$

$$\partial V_{21} / \partial L_3 = \frac{2F_2 + 2C_2 - 2L_2 - F_1 - 2M_1}{2(L_2 - L_3 + M_1)^2}$$

因此,  $V_{21}$  关于  $F_2, C_2$  为增函数,关于  $L_2, F_1, M_1$  为减函数;而关于  $L_3$  的增减性取决于企

业采取不同策略的收益和损失,当  $2F_2 - 2L_2 < F_1 - 2C_2 + 2M_1$  时,  $V_{21}$  关于  $L_3$  为减函数,反之,  $V_{21}$  关于  $L_3$  为增函数。

推论4表明:企业参与收益的增大、参与成本的降低和获得政府的政策红利的增加,会提高企业选择参与元宇宙建设的概率。

### 3. 用户策略稳定性分析

用户使用和不使用的期望收益  $E_{31}$ 、 $E_{32}$  和平均期望收益  $\bar{E}_3$  分别为:

$$E_{31} = xy(U_1 + M_2 - L_2) + (1-x)y(U_1 - L_4) \tag{15}$$

$$E_{33} = x(1-y)U_2 + (1-x)(1-y)U_2 \tag{16}$$

$$\bar{E}_3 = zE_{31} + (1-z)E_{32} \tag{17}$$

用户策略选择复制动态方程为:

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(E_{31} - \bar{E}_3) =$$

$$z(1-z)(U_1y - L_4y - U_2 + U_2y + M_2xy) \tag{18}$$

对  $F(z)$  关于  $z$  求导得:

$$\frac{dF(z)}{dz} = (1-2z) \times (U_1y - L_4y - U_2 + U_2y + M_2xy) \tag{19}$$

令  $G(y) = U_1y - L_4y - U_2 + U_2y + M_2xy$ , 由

$$G(y) = 0 \text{ 可得, } y = \frac{U_2}{U_1 + U_2 - L_4 + M_2x} = y_0,$$

$$F(z) \equiv 0。$$

当  $y \neq \frac{U_2}{U_1 + U_2 - L_4 + M_2x}$  时, 令  $F(z) = 0, z = 0$  或  $z = 1$ 。

**推论5:** 当  $y < y_0$  时, 用户的演化稳定策略为不使用; 当  $y > y_0$  时, 用户的演化稳定策略为使用。

**证明:** 由微分方程稳定性定理可知, 用户策略实施达到稳定状态需满足:  $F(z) = 0, \frac{dF(z)}{dz} < 0$ 。求  $G(y)$  的导数得:  $dG(y)/dy = U_1 + U_2 - L_4 + M_2x > 0$ , 因此  $G(y)$  是关于  $y$  的增函数。当  $y < y_0$  时,  $G(y) < 0, dF(z)/dz|_{z=1} > 0, dF(z)/dz|_{z=0} < 0$ , 此时  $z = 0$  为用户的演化稳定策略; 当  $y > y_0$  时,  $G(y) > 0, dF(z)/dz|_{z=0} < 0, dF(z)/dz|_{z=1} > 0$ , 此时  $z = 1$  为用户的演化稳定策略; 当  $y = y_0$  时,  $F(z) \equiv 0, dF(z)/dz \equiv 0$ , 此时  $z$  无论取何值, 用户都处于演化稳定状态。

推论5表明: 政府和企业的策略选择同时对用户的演化稳定策略产生影响。政府扶持概率和企业参与概率的提高, 均可使用户的演化稳定策略由不使用向使用演化; 反之, 政府扶持概率和企业参与概率的降低, 将使得用户由使用策略向不使用策略演化。用户策略演化相位图见图3。

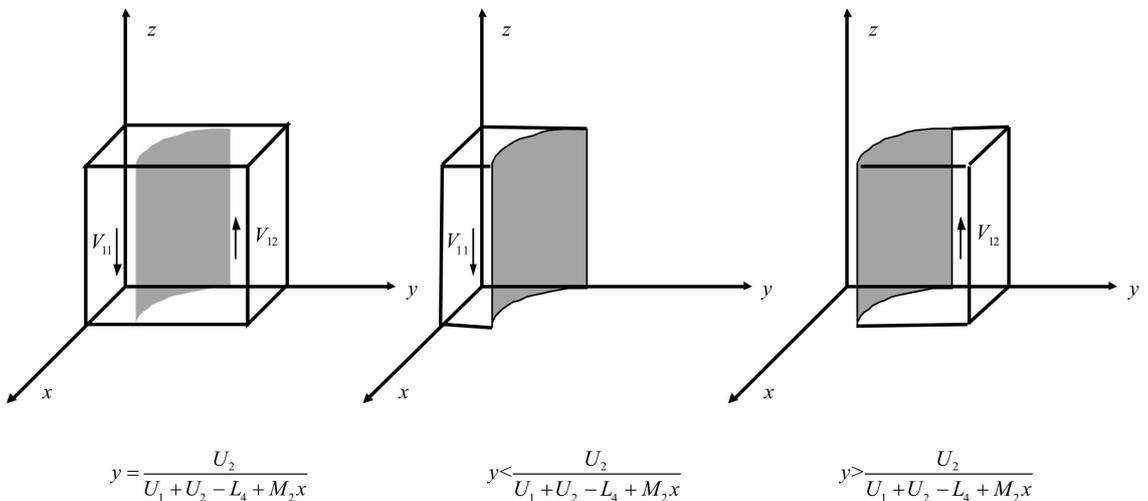


图3 用户策略演化相位图

由图3可知,体积 $V_{31}$ 为用户不使用的概率,体积 $V_{32}$ 为用户使用的概率。计算 $V_{31}$ 和 $V_{32}$ 的体积可得:

$$V_{31} = \int_0^1 \int_0^1 \frac{U_2}{U_1 + U_2 - L_4 + M_2 x} dx dz = \frac{U_2}{M_2} \ln \left( 1 + \frac{M_2}{U_1 + U_2 - L_4} \right) \quad (20)$$

$$V_{32} = 1 - V_{31} = 1 - \frac{U_2}{M_2} \ln \left( 1 + \frac{M_2}{U_1 + U_2 - L_4} \right) \quad (21)$$

用户选择不使用的概率与隐私泄露的损失 $L_4$ 、不使用获得的收益 $U_2$ 正相关;与使用收益 $U_1$ 、政府给予的优惠补贴 $M_2$ 负相关。

**证明:**根据用户不使用的概率 $V_{31}$ 的表达

$$J = \begin{bmatrix} \partial F(x)/\partial x & \partial F(x)/\partial y & \partial F(x)/\partial z \\ \partial F(y)/\partial x & \partial F(y)/\partial y & \partial F(y)/\partial z \\ \partial F(z)/\partial x & \partial F(z)/\partial y & \partial F(z)/\partial z \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} (1-2x) \begin{pmatrix} -C_1 - M_1 y + L_1 y z \\ -M_2 y z + R_1 y z \end{pmatrix} & x(1-x)(-M_1 + L_1 z - M_2 z + R_1 z) & x(1-x)(L_1 y - M_2 y + R_1 y) \\ y(1-y)(L_2 - L_3 + M_1) & (1-2y) \begin{pmatrix} L_3 - F_2 - C_2 + F_1 z \\ + L_2 x - L_3 x + M_1 x \end{pmatrix} & y(1-y)F_1 \\ z(1-z)M_2 y & z(1-z)(U_1 - L_4 + U_2 + M_2 x) & (1-2z) \begin{pmatrix} U_1 y - L_4 y - U_2 \\ + U_2 y + M_2 x y \end{pmatrix} \end{bmatrix} \quad (22)$$

根据Lyapunov第一法则,在雅克比矩阵的所有特征根都小于零的情况下,此均衡点即为演化稳定点;当雅克比矩阵至少有一个特征根大于零时,此均衡点为不稳定点;如果雅克比矩阵只有零和小于零的特征根,那么无法确定此均衡点的稳定性。各均衡点的稳定性分析结果见表2。

由表2可知,系统存在三个演化稳定点。当 $L_3 - F_2 - C_2 < 0$ 时,系统演化稳定点为 $(0, 0, 0)$ 。因此,为避免策略组合(等待,观望,不使用)的出现,应降低企业参与元宇宙建设的成本,增大企业观望的潜在损失,降低企业观望的收益,激励企业参与元宇宙建设,以降低其选择

式,求各要素的一阶偏导数得: $\partial V_{31}/\partial U_1 < 0$ ,  $\partial V_{31}/\partial M_2 < 0$ ,  $\partial V_{31}/\partial U_2 > 0$ ,  $\partial V_{31}/\partial L_4 > 0$ 。因此, $V_{31}$ 关于 $U_2, L_4$ 为增函数,关于 $U_1, M_2$ 为减函数。

推论6表明:隐私泄露损失的降低、政府给予优惠补贴的增加和使用收益的提高均可提高用户使用元宇宙体验方式的概率。

#### 4. 演化博弈系统稳定性分析

多主体演化博弈的均衡解是严格的纳什均衡,即纯策略均衡解。因此,本文只对三方演化博弈的八个纯策略均衡解的稳定性进行分析。由 $F(x) = F(y) = F(z) = 0$ 得到的纯策略均衡点为 $(0, 0, 0)$ ,  $(1, 0, 0)$ ,  $(0, 1, 0)$ ,  $(0, 0, 1)$ ,  $(1, 1, 0)$ ,  $(1, 0, 1)$ ,  $(0, 1, 1)$ ,  $(1, 1, 1)$ 。

三方演化博弈系统的Jacobian矩阵为:

观望的概率。

当 $L_1 - C_1 - M_1 - M_2 + R_1 < 0, C_2 - F_1 + F_2 - L_3 < 0$ 时,系统演化稳定点为 $(0, 1, 1)$ ,对应的策略组合为(等待,参与,使用)。此时政府扶持成本较大而所获得的社会效益较小且选择等待所带来的声誉损失较小,政府扶持的积极性不足。因此,应降低政府的扶持成本,增大政府选择等待的声誉损失,使得政府改变等待策略,以有效避免策略组合(等待,参与,使用)的出现。

当 $C_1 - L_1 + M_1 + M_2 - R_1 < 0, C_2 - F_1 + F_2 - L_2 - M_1 < 0$ 时, $(1, 1, 1)$ 为系统的演化稳定点。此时政府扶持付出的成本和对参与企业与使用用户的优惠补贴与获得的社会收益之差

表2 均衡点稳定性分析结果

均衡点	特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	正负号	稳定性
(0,0,0)	$-C_1, L_3 - F_2 - C_2, -U_2$	(-, ×, -)	满足条件 <sup>①</sup> 时 ESS
(1,0,0)	$C_1, L_2 - F_2 - C_2 + M_1, -U_2$	(+, ×, -)	不稳定点
(0,1,0)	$-C_1, -M_1, C_2 + F_2 - L_3, U_1 - L_4$	(-, ×, +)	不稳定点
(0,0,1)	$-C_1, F_1 - C_2 - F_2 + L_3, U_2$	(-, ×, +)	不稳定点
(1,1,0)	$C_1 + M_1, C_2 + F_2 - L_2 - M_1, M_2 - L_2 + U_1$	(+, ×, +)	不稳定点
(1,0,1)	$C_1, F_1 - C_2 - F_2 + L_2 + M_1, U_2$	(+, ×, +)	不稳定点
(0,1,1)	$L_1 - C_1 - M_1 - M_2 + R_1, C_2 - F_1 + F_2 - L_3, L_4 - U_1$	(×, ×, -)	满足条件 <sup>②</sup> 时 ESS
(1,1,1)	$C_1 - L_1 + M_1 + M_2 - R_1, C_2 - F_1 + F_2 - L_2 - M_1, L_4 - M_4 - U_1$	(×, ×, -)	满足条件 <sup>③</sup> 时 ESS

注: ×表示正负号不确定;条件<sup>①</sup>表示: $L_3 - F_2 - C_2 < 0$ ;条件<sup>②</sup>表示: $L_1 - C_1 - M_1 + M_2 + R_1 < 0, C_2 - F_1 + F_2 - L_3 < 0$ ;条件<sup>③</sup>表示: $C_1 - L_1 + M_1 + M_2 - R_1 < 0, C_2 - F_1 + F_2 - L_2 - M_1 < 0$ 。

低于政府选择等待的声誉损失;企业参与所获得的收益和政策红利与付出的成本高于企业选择观望的收益和潜在损失,达到了博弈系统的理想状态,策略组合(扶持,参与,使用)趋于稳定。

## 四、结论与建议

### 1. 研究结论

元宇宙产业发展是一个不同层级多元主体协同参与的过程,本文立足有限理性假设,构建了以政府、企业和用户三方为主体的演化博弈模型,探讨了不同条件下各主体的演化稳定策略,主要结论如下。

(1)政府的策略选择受到政府扶持引导成本、声誉损失、社会收益和给予企业与用户补贴的影响。降低政府的扶持成本、增加等待的声誉损失、提高社会收益,可以促使其选择扶持策略。

(2)企业参与成本、参与收益、观望的潜在损失和获得的政策红利是影响企业策略选择的重要因素。降低企业的参与成本、增加观望的潜在损失、提高前景收益和获得的政策红利,将增强参与策略的吸引力,从而激励企业积极参与。

(3)使用收益和隐私泄露损失与获得的优惠补贴在用户的策略选择中发挥关键作用。使用收益和获得优惠补贴的增加、隐私泄露损失的降低,将影响用户获得的服务质量,从而有助于促使用户选择使用策略。

(4)政府、企业和用户在策略选择过程中受到其他两方策略选择的相互影响。这种相互依赖的关系在元宇宙产业的发展中发挥重要作用,影响各方主体最佳策略的决策过程。各方利益关系的平衡,可以最大限度地调动各方的积极性和主动性。

### 2. 政策建议

(1)制定清晰的战略,建立元宇宙生态体系。元宇宙的技术在向着更颗粒化、精细化的方向发展,客户的场景应用需求在向着更综合的方向发展。这就要求政府建立起围绕元宇宙核心能力的生态体系,完善基础设施建设,加大对区块链与人工智能的投入,提高对进入企业资源、技术、资金等的支持,对欠发达地区、新兴产业薄弱领域给予特殊的优惠力度,不断向社会释放出优势产业投资信号,引领社会资金、组织的进入,为产业发展带来更多的社会优势力量,为企业和用户整合的应用场景和解决方案。

(2)加强政策激励与引导,提升企业的信心效应。政府应加强元宇宙产业发展中对企业的引导,通过系统性的金融政策、税收减免、财政补贴等方式缓解产业基础资源不足和市场未知风险等问题,提升企业参与的信心,引导企业参与研发,以推动产业的发展。

(3)完善监管体系,保障产业的健康发展。加强对企业的监督,完善惩罚机制,以防止部分企业为获取政府资源的投机行为。同时,应加强信息安全监管,畅通用户维权渠道,维护用户合法权益,保障产业市场发展的稳定性。

(4)调动用户参与积极性,助力产业持续发展。应通过积极参与元宇宙平台,促使平台改进并贴近用户需求,确保其满足用户期望;通过用户反馈,及时发现问题,提高用户体验;鼓励用户积极学习元宇宙知识,提高虚拟空间安全意识,利用社交媒体分享经验,促进知识分享,推动产业持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 钟业喜,吴思雨. 元宇宙赋能数字经济高质量发展:基础、机理、路径与应用场景[J]. 重庆大学学报(社会科学版),2022(4):1.
- [2] 习近平. 不断做强做优做大我国数字经济[J]. 先锋,2022(3):5-7.
- [3] 元宇宙概念大热:国际科技巨头在追捧什么[EB/OL]. (2020-04-07)[2023-04-18]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=17293980539363858535&wfr=spider&for=pc>.
- [4] 郭全中. 元宇宙的缘起、现状与未来[J]. 新闻爱好者,2022(1):26.
- [5] 何诚颖,黄轲,张左敏暘,等. 元宇宙产业发展:重塑效应、阶段特征及演进前景[J]. 安徽师范大学学报(人文社会科学版),2022(5):111.
- [6] 彭兰. 元宇宙之路的近虑与远忧:基于用户视角的需求-行为分析[J]. 探索与争鸣,2022(7):78.
- [7] 贺俊,吕铁. 战略性新兴产业:从政策概念到理论问题[J]. 财贸经济,2012(5):106.
- [8] 国务院. 关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定[EB/OL]. (2020-10-18)[2023-08-20]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2010-10/18/content\\_1274.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2010-10/18/content_1274.htm).
- [9] 陈永伟,程华. 元宇宙经济:与现实经济的比较[J]. 财经问题研究,2022(5):3.
- [10] 喻国明,耿晓梦. 元宇宙:媒介化社会的未来生态图景[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2022(3):110.
- [11] 聂辉华,李靖. 元宇宙的秩序:一个不完全契约理论的视角[J]. 产业经济评论,2022(2):186.
- [12] 胡乐乐. 元宇宙与意识形态、国家安全:技术、挑战、治理[J]. 云南民族大学学报(哲学社会科学版),2022(5):76.
- [13] 方凌智,沈煌南. 技术和文明的变迁:元宇宙的概念研究[J]. 产业经济评论,2022(1):5.
- [14] 关乐宁. 元宇宙新型消费的价值意蕴、创新路径与治理框架[J]. 电子政务,2022(7):30.
- [15] 杨东,高一乘. 论“元宇宙”主体组织模式的重构[J]. 上海大学学报(社会科学版),2022(5):75.
- [16] GUO D, GUO Y, JIANG K. Government-subsidized R&D and firm innovation: Evidence from China[J]. Research Policy, 2016(6):1129.
- [17] 李文军,郭佳. 我国战略性新兴产业发展:成效、挑战与应对[J]. 经济纵横,2022(8):65.
- [18] 芮明杰,韩佳玲. 产业政策对企业研发创新的影响研究:基于促进创新型产业政策“信心效应”的视角[J]. 经济与管理研究,2020(9):78.
- [19] CHOI J, LEE J. Repairing the R&D market failure: Public R&D subsidy and the composition of Private R&D[J]. Research Policy, 2017(8):1465.
- [20] JIANG H, HU Y, ZHANG H, et al. Benefits of downward earnings management and political connection: Evidence from government subsidy and market pricing[J]. The International Journal of Accounting, 2018(4):255.
- [21] 任鸽,孙慧. 政府补助如何影响企业研发投入?——高管垂直薪酬差距的中介作用和董事会规模的调节作用[J]. 研究与发展管理,2019(6):70.

[22] SZCZYGIELSKI K, GRABOWSKI W, PAMUKCU M T, et al. Does government support for private innovation matter? Firm-level evidence from two catching-up countries[J]. *Research Policy*, 2017(1):219.

[23] CHEN J, HENG C S, TAN B C, et al. The distinct signaling effects of R&D subsidy and non-R&D subsidy on ipo performance of it entrepreneurial firms in China[J]. *Research Policy*, 2018(1):108.

[24] 郗海拓, 姚雨非, 郭婧, 等. 政府补助强度、企业盈利能力和成长能力之间的动态互动效应研究: 基于绿色低碳新兴产业的实证证据[J]. *情报杂志*, 2021(11):190.

[25] 毛其淋, 许家云. 政府补贴对企业新产品创新的影响: 基于补贴强度“适度区间”的视角[J]. *中国工业经济*, 2015(6):94.

[26] 武咸云, 陈艳, 杨卫华. 战略性新兴产业的政府补贴与企业 R&D 投入[J]. *科研管理*, 2016(5):19.

[27] HOTTENROTT H, LOPES-BENTO C, VEUGELERS R. Direct and cross scheme effects in a re-

search and development subsidy program[J]. *Research Policy*, 2017(6):1118.

[28] 赵宇恒, 孙悦. 政府补助: 补助了企业还是高管[J]. *现代财经(天津财经大学学报)*, 2014(10):15.

[29] 王淑英, 张远芳. 如何防止企业堕入“扶持悖论”陷阱[J]. *管理工程学报*, 2023(1):145.

[30] 赖玲玲, 程跃. 战略性新兴产业政策对企业创新绩效的影响研究: 基于双重差分法的准自然实验[J]. *现代管理科学*, 2022(5):98.

[31] TAKALO T, TANAYAMA T, TOIVANEN O. Market failures and the additionality effects of public support to private R&D: Theory and empirical implications[J]. *International Journal of Industrial Organization*, 2013(5):634.

[责任编辑: 侯圣伟 张省]



引用格式: 黄晓红, 张倩, 李思琦. 三元主体交互视角下元宇宙产业发展的演化博弈研究[J]. *郑州轻工业大学学报(社会科学版)*, 2024, 25(2):48-58.