

doi: 10.19920/j.cnki.jmsc.2024.01.002

异质用户参与度下新产品开发策略的演化分析^①

华 晔¹, 孙 菁¹, 董毓芬²

(1. 浙江工业大学管理学院, 杭州 310014; 2. 浙江大学管理学院, 杭州 310058)

摘要: 随着数字经济的快速发展,越来越多的用户参与到企业的新产品开发过程中。由于用户个体在能力、性格和价值观等方面的异质性,本文提出用户参与度的概念,以描述异质的用户参与度对用户参与新产品开发与购买行为的影响,构建了异质用户参与下新产品开发策略演化博弈分析模型。研究发现,只有当企业和用户共同研发的成本与企业独立研发成本差距较小且企业独立研发成本适中时,用户与企业共同研发才有可能是稳定的演化均衡策略;为了促进异质用户参与企业新产品开发,企业除了要努力降低用户与企业共同研发新产品的成本,赋能用户参与、提供用户参与企业新产品开发的工具外,还应当努力提高共同研发新产品对用户的价值增值,提高用户参与度的均值并降低其变异性。本文从用户参与度特征、参与成本与收益的角度为相关行业的企业新产品开发策略决策提供了系统的理论指导。

关键词: 新产品开发; 新产品定价; 用户参与; 联合优化; 演化博弈

中图分类号: F273.2; F224 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2024)01-0017-11

0 引言

新媒体、大数据与人工智能等技术的快速发展及其应用,使得用户与企业互动(简称为用企互动)创新逐渐成为企业新产品/新服务开发的重要策略^[1]。例如,乐高建立了一个名为 Cuusoo 的在线粉丝社区,邀请粉丝分享设计,并从中挑选最受欢迎的方案,开发出众多畅销设计模型,进行产品设计。小米 MIUI 社区通过整合实时用户的反馈与不断更新,其社区用户群从最初的 100 人增长到 2011 年的 50 万人。很多 MIUI 用户成为了第一批客户,产品发布非常成功,仅三小时内就售出了 10 万部智能手机^[2]。在用企互动的产品创新过程中,用户的参与程度往往呈现出明显的个体差异性,并且体现在从用户个性化需求的表达、企业产品结构功能设计、到新产品的市场发布与性能推介的产品创新全过程。为了描述这种差异性,

von^[3]提出了“领先用户”的概念。Li 等^[2]也注意到小米 MIUI 用户(粉丝)参与创新程度的差别,并依据粉丝技术技能的高低,经验性地按照创新参与的程度高低将用户分为四类,即:产品开发人员、产品测试人员、产品支持者和常客四类。显然,目前已有的这些粗放定性的、单维度的、局限于具体应用场景的用户参与创新程度的描述方法,不足以反映用户参与异质性的现状与影响。

本文以消费电子类产品、玩具和时装制造业等为主要背景,研究异质用户参与的新产品开发(new product development, NPD)这种应用类创新^[4]的策略问题。对于这些行业的企业而言,用户参与 NPD 过程是一个用户与企业间的双向交互过程:一方面,用户向企业提供其个人需求偏好、贡献个体知识和提出产品设计建议;另一方面,企业认可用户的贡献,在新产品研发中一定程度地采纳用户的建议并进一步寻求用户对新产品

^① 收稿日期: 2023-05-07; 修订日期: 2023-09-17.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(72201246; 72271215).

作者简介: 华 晔(1992—),女,安徽潜山人,博士,讲师. Email: yehua@zjut.edu.cn

的认可^[5]. 由于用户个体的能力、经验、性格和价值观等各不相同, 用户群体中个体用户参与 NPD 的程度必然是差异化的. 为了研究这种异质的用户参与对用企互动创新策略的影响, 本文引入用户参与度 (user participation degree, UPD) 的概念, 即用户感知其在参与企业 NPD 过程中做出贡献并被企业认可与采纳的程度. UPD 概念的提出, 旨在打破相关文献认为只有“少数领先用户参与企业创新”观念的束缚, 为探究数字经济时代“所有用户均可不同程度参与企业创新”的观点, 提供了进一步研究的切入点.

用户选择参与企业的 NPD 行为, 是一个策略学习、调整与改进的动态过程. 为了研究在此动态过程中企业与其用户之间的互动规律, 本文提出了一个两阶段演化博弈模型, 分别描述产品设计阶段的企业与用户参与行为策略, 和企业在新产品推介与定价阶段的决策. 在演化博弈模型中, 考虑用户和企业两个群体. 用户群体作为一个主体可选择“参与 NPD”和“不参与 NPD”行为策略; 但用户群体中个体用户之间存在 UPD 的差异, 该差异将影响用户的价值感知并最终影响用户对相关产品的购买决策.

按照演化博弈的逻辑, 用户是否参与 NPD 实际上是企业和用户双方博弈的结果: 用户创新系统是一个包含有企业群体与用户群体的系统, 企业和用户在不完全信息条件下进行有限理性的行为选择, 通过反复学习和试错使系统最终达到均衡状态. 演化博弈以参与人群体为研究对象, 从选择、模仿和突变三个方面分析参与人行为随着时间变化的动态过程. 其中, 选择是指可获得较高支付的行为策略在后续博弈中将被更多的参与者所采用; 模仿是指参与主体有意识地学习其他参与者的行为策略; 突变是指部分参与者随机地选择不同于群体的策略, 但只有占优的策略才能够生存下来. 因此, 演化博弈主体的行为策略调整、改进和选择体现了其有限理性的特点.

本文从演化博弈的稳定均衡存在条件入手, 研究异质 UPD 的企业新产品开发与定价联合优化策略的动态演化规律, 并由此提出了促进异质用户参与企业新产品开发的对策建议.

1 文献综述

本文的研究与用户参与的新产品开发、新产品销售和基于演化博弈的用企互动创新策略研究相关. 下面将分别从这三个方面简要进行文献分析与总结.

1.1 用户参与企业新产品开发方面的研究

由于不同用户在现实中具有不同的教育背景、知识水平和 NPD 参与能力, 不同用户的 NPD 参与程度可能是异质的^[6]. 根据 Enos^[7] 的创新扩散理论, 潜在用户群体中, 创新性用户的数量是人口 (潜在用户) 的 10% ~ 20%. Bass 对美国 11 种耐用消费品的新产品购买的统计分析也发现, 创新性用户数量相比普通用户而言, 虽然不同行业有较大差别, 但都占比很小, 没有超过 3%.

“创新性用户”又被称做“领先用户”^[3, 8], 指超前于市场趋势和普通用户需求, 并且自身能够解决需求问题的个体或群体. Li 等^[2] 依据粉丝技术技能的高低, 经验性地将用户按照创新参与的程度从高到底分为四类, 不同类别用户在智能手机新功能的发布、投票、开发和测试四个不同阶段发挥着不同的作用. 现有研究中, 将用户群体划分为“领先用户”和“普通用户”, 或者按照参与活动的功能分类往往较为模糊, 且其内涵往往存在一定的主观性.

1.2 新产品销售策略的相关研究

新产品的销售策略问题是国内外学者一直比较关注的课题. Billington 等^[9] 指出, 新产品/新服务被市场成功接受可以在很大程度提升企业的盈利, 并激励企业持续创新. Van der Borgh 和 Schepers^[10] 指出, 新产品 (服务) 的推出通常伴随着比现有产品 (服务) 销售更高的风险. 在降低新产品市场风险, 促进新产品销售收益的策略研究方面, Zeng^[11] 认为网络预售策略可以使企业提前获得需求信息, 以降低那些销售期较短的新产品市场需求和库存不确定性. Hua 等^[12] 研究了互动参与可以使企业对于用户的需求与意见进行即时有效反馈, 以实现新产品的价值增值和未来产品的改善问题. 这些研究侧重在企业的销售策略 (包括预售等), 较少考虑研发与新产品销售策略的相互影响及其融合问题.

1.3 基于演化博弈的用企互动创新策略研究

在提升用户参与互动创新积极性的研究方面,郑彤彤和谢科范^[13]将用户作为一个整体,分析了用户创新行为的演化机理,从而探究促进用户对产品和服务提出新设想或进行改进的策略。Liu 等^[14]应用演化博弈框架研究了双寡头环境中的新产品 NPD 问题,发现一家制造商使用在线客户评论可能提高其新产品性能或降低成本,但会伤害到另一家制造商。毛雅俊^[15]在网络演化博弈的框架下,研究了网络结构和个体行为模式的多样性对策略演化的影响。谭劲松和赵晓阳^[16]应用演化博弈模型和多智能体仿真模型研究了创新生态系统中领先企业与跟随企业间的博弈规律,以及创新保护策略、跟随策略的动态演化特征。这些研究为激励用户参与企业互动创新提供了很多启示。但相关研究通常不

考虑个体用户参与 NPD 活动的差异性,也没有将用户参与活动与产品创新过程中针对性的功能需求或者产品创新过程的具体阶段(如新产品推介与销售)联系起来。

2 用企互动 NPD 的两阶段博弈与优化建模

假设系统中存在用户和企业两个群体。在博弈初始阶段,博弈双方均有两个行为策略选择:企业的选择包括“开发新产品”和“不开发新产品”,企业选择开发新产品意味着其将启动 NPD 流程;用户的选择是“参与 NPD”和“不参与 NPD”。本文将企业和具有异质 UPD 的用户间互动过程描述为两阶段博弈模型,如图 1 所示。

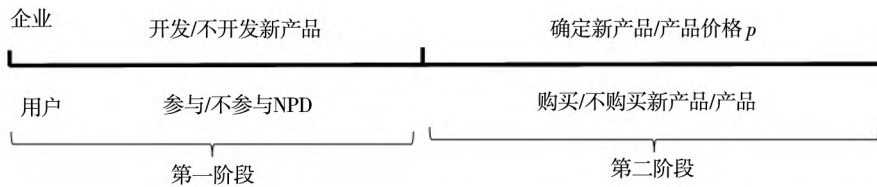


图 1 企业与用户交互 NPD 的两阶段博弈过程

Fig. 1 The two-stage game process of NPD interaction between enterprises and users

本文采用进化博弈的建模框架来捕捉企业和用户之间潜在的合作行为与互动规律。

2.1 第一阶段的行为

根据用户和企业在第一阶段的行为选择,企业可以产出如表 1 的三种不同的产品。本文建模与分析中的参数符号定义见表 2。

产品 i ($i = o, n, jn$) 对用户的价值包括两个部分: 其一是产品 i 的性能带给用户需求满足的价值; 其二是用户选择“参与 NPD”行为形成产品 i 所带给用户额外价值。由于新产品具有原产品所不具有的新功能特性, 因此相对于原产品 o , 产品 n 将给用户带来价值增值 θ ($\theta > 0$) 即 $v^n = v^o + \theta$, θ 的大小主要取决于产品 n 新功能特性的有

用性。

假设产品 jn 和 n 对于用户而言在性能上没有差异。注意到产品 jn 除了因其新功能特性给用户带来价值增值^[17]外, 还因为用户参与了企业 NPD 并得到企业认可与采纳所带给用户的额外价值增值^[18], 记为 αK , $\alpha (\geq 0)$ 的大小主要取决于企业的开放创新能力。由于个体用户在能力、经验、性格和价值观等方面的异质性, 个体用户的 DUP K 是随机的。假设随机变量 K 服从 $[k_{\min}, k_{\max}]$ 上的递增失效率分布^[19], 即 $f(k) / [1 - F(k)]$ 是 k 的增函数, 其中 k 为某个具体用户实现的用户参与度, $f(k)$ 为密度函数, $F(k)$ 为累积分布函数。因此, $v^{jn} = v^n + \alpha K = v^o + \theta + \alpha K$ 。

表 1 研发、参与行为与产品类型间的关系

Table 1 The relationship between NPD participation strategies and product types

企业提供给 用户的产品		企业	
		开发新产品	不开发新产品
用 户	参与 NPD	共同研发的新产品 jn	原产品 o
	不参与 NPD	独立研发的新产品 n	原产品 o

表2 参数与符号的定义

Table 2 Definitions of parameters and symbols

参数/符号	定义
产品 i	产品类别 $i = o, n, jn$: o 表示企业原产品 n 表示企业独立研发的新产品, jn 表示企业用户共同研发的新产品
v^i	产品 i 对用户的价值
$\theta (\theta > 0)$	新产品相对于产品 o 给用户带来的价值增值
$K; k$	一般个体用户的 DUP(随机变量, 分布函数记为 F); 具体用户实现的 DUP(可从用户个体贡献的创意思法、解决方案数被回复与采纳认可的程度进行评价)
$\alpha > 0$	用户参与度的价值增值系数
δ_u, δ_e^i	用户(u)参与 NPD 的研发成本, 企业(e)研发新产品 $i (i = n, jn)$ 的成本
U_u^i	用户对产品 $i (i = o, n, jn)$ 的净价值, 即 v^i 与 p^i 之差
u_u^i	用户群体对产品 $i (i = o, n, jn)$ 的效用剩余, 即用户的净价值(U_u^i)与参与 NPD 的成本之差
$I_u^i (i = o, n, jn)$	用户(u)参与产品 i 研发的示性函数, 即 $I_u^i = 1$ 当且仅当用户选择参与 NPD 的行为策略, 否则为 0
$c^i (i = o, n, jn)$	产品 i 的单位生产成本
$\pi_e^i, \hat{\pi}_e^i$	当产品 i 的价格为 p^i 时的企业利润, 企业(e)对产品 i 的最优利润
\hat{u}_u^i, \hat{u}_e^i	最优价格 \hat{p}^i 下对应的用户效用剩余, 最优价格 \hat{p}^i 下对应的企业净利润($\hat{\pi}_e^i$ 减去其选择行为导致的成本)

用户(u)的研发成本 δ_u 包括用户参与 NPD 的时间成本和相关参与 NPD 的工具成本. 例如, 小米手机的开发者粉丝通常需要每天晚上花 2 h ~ 3 h 在小米论坛上^[2]. 用户参与情形下的企业研发成本 δ_e^{jn} 指企业在进行新产品开发的全过程中, 过程的多个或者全部环节有用户参与条件下的企业成本. 因此, δ_u, δ_e^n 和 $\delta_e^{jn} > 0$, δ_e^{jn} 与 δ_e^n 的大小关系取决于很多因素. 例如, 用户参与 NPD 也许对某些类别的产品(如智能手机、时装等)可以降低明确用户需求和性能测试的成本, 但可能会增加产品性能与结构设计的成本(例如因用户不了解企业的工艺技术而提出在产品结构实现方面有挑战的性能要求所增加的企业成本). 一定程度上, 这方面因素可以看成是企业采用用户互动的适用条件.

2.2 第二阶段行为

图 1 所示的第二阶段为新产品销售阶段. 企业在该阶段将依据参与人在第一阶段的行为以利润最大化为目标进行对应的产品定价决策, 用户将根据产品 $i (i = o, n, jn)$ 的价格确定是否购买, 然后企业通过求解利润优化问题确定新产品定价.

1) 用户购买行为

记企业确定的产品 i 价格为 $p^i (i = o, n, jn)$. 产品 i 对于用户(u)的净价值, $U_u^i (i = o, n, jn)$ 可以表示为

$$U_u^i = \begin{cases} v^o - p^o & i = o \\ v^n - p^n = \begin{cases} v^o + \theta - p^n & i = n \\ v^o + \theta + \alpha K - p^{jn} & i = jn \end{cases} & i = n \end{cases} \quad (1)$$

显然, 用户购买产品 i 当且仅当 $U_u^i \geq 0 (i = o, n, jn)$. 不失一般性, 本文假设产品 i 的市场规模为 1 (即将任意数量的潜在用户需求进行归一化). 记给定价格 p^i 时产品 i 的期望需求为 $d^i (i = o, n, jn)$.

当 $i = o$ 或者 n 时, 由于用户的 UPD 为 0, 由式 (1) 知 $d^i = 1$ 当且仅当 $p^i \leq v^i$. 当 $i = jn$ 时, 考虑用户个体参与 NPD 的 UPD 随机性, 用户的期望需求为

$$\begin{aligned} d^{jn} &= \Pr(U_u^{jn} \geq 0) \\ &= \Pr\left(K \geq \frac{p^{jn} - v^o - \theta}{\alpha}\right) \\ &= 1 - F\left(\frac{p^{jn} - v^o - \theta}{\alpha}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

最后一个等号成立是因为最优的价格决策必然不小于 $v^o + \theta$; 否则企业总可以将价格 p^{jn} 提高到 $v^o + \theta$ 同时不改变用户需求而增加利润.

如上文所述, 产品 n 与 jn 对于用户而言在产品性能上没有差异, 但后者的形成过程有用户的个性化参与. 当企业提供给用户产品 o 或者 n 时, 用户的效用剩余与个体用户的参与度无关, 因此 $u_u^i = U_u^i - \delta_u I_u^i (i = o, n)$. 当企业提供给用户产品 jn 时, 由式 (2) 知 U_u^{jn} 为负时用户不会购买产品 i ,

因此对于用户群体而言, $u_u^i = E[(U_u^i)^+] - \delta_u$, 其中, $E[\cdot]$ 表示期望. 因此有

$$u_u^i = \begin{cases} U_u^i - \delta_u I_u^i & i = o, n \\ E[(U_u^i)^+] - \delta_u & i = j, n \end{cases} \quad (3)$$

其中 $(U_u^i)^+ = \max(U_u^i, 0)$.

2) 企业的定价行为

为避免企业销售给用户的产品单位利润为负的情况出现, 假设产品 i 的单位生产成本低于其最大的价值感知, 即 $c^o < v^o$, $c^n < v^o + \theta$ 且 $c^{jn} < \alpha k_{\max} + v^o + \theta$.

当产品 i 的价格为 p^i 时, 企业利润 π_e^i 为

$$\pi_e^i = (p^i - c^i) d^i \quad (4)$$

因此, 给定博弈参与人在图 1 中第一阶段的行为策略, 第二阶段企业 (e) 的价格决策即为求解下列利润优化问题

$$\hat{\pi}_e^i = \max_{p^i} \pi_e^i \quad (5)$$

式中 $\hat{\pi}_e^i$ 为给定参与人博弈第一阶段的行为策略下, 企业 (e) 的最优利润.

记 \hat{p}^i 为最优利润 $\hat{\pi}_e^i$ 对应的最优价格, 则有

$$\hat{u}_e^i = \begin{cases} \hat{\pi}_e^o & i = o \\ \hat{\pi}_e^i - \delta_e^i & i = n, j, n \end{cases} \quad (6)$$

式 (6) 表示, 当企业提供产品 o 时, 企业的研发成本一定为 0; 而无论企业提供产品 n 或者产品 j, n , 企业的研发成本为 δ_e^i .

3 模型分析

对于上节所建立的两阶段决策问题模型, 这部分将采用反向归纳的方法, 先进行第二阶段用户购买行为分析和企业的新产品定价决策优化分析; 然后进行第一阶段的用企互动 NPD 策略演化分析.

3.1 第二阶段的优化决策分析

当企业提供原产品或独立研发新产品时, 引理 1 给出其产品的最优定价方法.

引理 1 无论是原产品还是独立研发新产品, 企业的最优价格为 $\hat{p}^i = v^i, i = o, n$.

引理 1 成立的原因是由于当原产品或独立研发的新产品价格不高于用户的同质价值感知时, 所有用户都会购买产品; 同时企业利润为价格的

增函数.

根据引理 1 结合式 (1) 和式 (4) ~ 式 (6) 可以直接推出以下结论:

推论 1 当企业提供原产品或独立研发新产品时, 企业净收益 \hat{u}_e^i 为

$$\hat{u}_e^i = \begin{cases} v^o - c^o & i = o \\ v^o + \theta - c^n - \delta_e^n & i = n \end{cases}$$

用户效用剩余 \hat{u}_u^i 为

$$\hat{u}_u^i = \begin{cases} -\delta_u I_u^i & i = o \\ 0 & i = n \end{cases}$$

推论 1 表明当企业独立研发新产品时, 企业可以通过定价使得所有用户购买产品且效用剩余为 0; 当用户选择“参与 NPD”行为时, 其效用剩余将为负.

当用户和企业共同研发新产品时, 依据式 (2) 和式 (4) 可得企业利润为

$$\pi_e^{jn} = (p^{jn} - c^{jn}) [1 - F((p^{jn} - v^o - \theta)/\alpha)] \quad (7)$$

通过式 (7) 进行企业利润的优化, 可以得到下述结论.

命题 1^② 当企业提供共同研发新产品时, 企业的最优价格 \hat{p}^{jn} 满足

$$(\hat{p}^{jn} - c^{jn}) f((\hat{p}^{jn} - v^o - \theta)/\alpha) / \alpha + F((\hat{p}^{jn} - v^o - \theta)/\alpha) = 1$$

且 $\hat{p}^{jn} \in (c^{jn}, v^o + \theta + \alpha k_{\max})$. 企业的净利润 \hat{u}_e^{jn} 为

$$\hat{u}_e^{jn} = (\hat{p}^{jn} - c^{jn})^2 f((\hat{p}^{jn} - v^o - \theta)/\alpha) - \delta_e^{jn}$$

用户的效用剩余 \hat{u}_u^i 为

$$\hat{u}_u^{jn} = \int_{\frac{(\hat{p}^{jn} - v^o - \theta)}{\alpha}}^{k_{\max}} (v^o + \theta + \alpha k - \hat{p}^{jn}) f(k) dk - \delta_u > -\delta_u$$

命题 1 的结果表明: 当 $p^{jn} > c^{jn}$ 时, 一定存在最优的产品定价 $\hat{p}^{jn} \in (c^{jn}, v^o + \theta + \alpha k_{\max})$ 使企业达到最大的净利润 \hat{u}_e^{jn} , 且用户的净效用剩余 $\hat{u}_u^i - \delta_u$ 非负. 该结果的前半部分保障了企业采取共同研发新产品策略的利益; 后半部分保障了用户购买共同研发新产品的效用. 因此, 命题 1 事实上描述了企业与用户采取共同研发新产品策略的理论基础.

由于命题 1 中最优的产品定价 \hat{p}^{jn} 及其对应企业净利润 \hat{u}_e^{jn} 均为隐函数的形式, 难以直观地发

② 如需命题 1 的推导过程, 可联系作者获取.

现 \hat{p}^{jn} 和 \hat{u}_e^{jn} 与问题主要参数间的关系, 下面的推论给出 K 服从均匀分布条件下 \hat{p}^{jn} 和 \hat{u}_e^{jn} 的表达式.

当服从 $[0, k_{\max}]$ 上的均匀分布时, 由命题 1 可以直接得到下列推论.

推论 2 当企业提供共同研发新产品时, 若 K 服从 $[0, k_{\max}]$ 上的均匀分布, 则企业的最优价格 \hat{p}^{jn} 满足

$$\hat{p}^{jn} = (\alpha k_{\max} + v^o + \theta + c^{jn}) / 2$$

企业净利润 \hat{u}_e^{jn} 为

$$\hat{u}_e^{jn} = (\alpha k_{\max} + v^o + \theta - c^{jn})^2 / 4\alpha k_{\max} - \delta_e^{jn}$$

用户的效用剩余 \hat{u}_u^i 为

$$\hat{u}_u^i = (\alpha k_{\max} + v^o + \theta - c^{jn})^2 / (8\alpha k_{\max}) - \delta_u^i.$$

从推论 2 可以看出, 在其它参数保持不变的条件下, 用户参与的价值系数 α 越大, \hat{p}^{jn} 越大但 \hat{u}_e^{jn} 越小; 用户个体参与程度的均值与方差 (均取决于 k_{\max}) 越大, \hat{p}^{jn} 越大但 \hat{u}_e^{jn} 越小; 共同研发新产品相对于原产品的价值 ($v^o + \theta$) 越大, \hat{p}^{jn} 与 \hat{u}_e^{jn} 都越大; 共同研发新产品的单位生产成本 c^{jn} 越大, \hat{p}^{jn} 越大但 \hat{u}_e^{jn} 越小.

3.2 第一阶段的企业与用户交互 NPD 策略演化分析

记时刻 t (或者称为博弈阶段 t) 用户选择参与 NPD 行为的概率为 $x(t)$, 则其选择不参与 NPD 行为的概率为 $1 - x(t)$; 企业选择开发新产品行为的概率为 $y(t)$, 则其选择不开发新产品行为的概率为 $1 - y(t)$. 本文称 $(x(t), y(t))$ 为时刻 t 演化博弈以参与人的行为策略, 或简称策略. 在不引

起歧义的情况下, 策略 $(x(t), y(t))$ 简记为 (x, y) .

记 $\eta \triangleq \delta_e^{jn} - \delta_e^n$ 为企业研发产品 jn 与产品 n 的研发成本的差值, λ 为产品 jn 对用户的净价值 (即 \hat{u}_u^{jn}), Δ_1 为企业研发并生产产品 jn 相比于产品 o 的净利润增量, Δ_2 为企业研发并生产产品 n 相比于产品 o 的净利润增量. 根据命题 1 有

$$\lambda = \int_{(\hat{p}^{jn} + \theta)/\alpha}^{k_{\max}} (v + \theta + \alpha k - \hat{p}^{jn}) f(k) dk > 0 \quad (8)$$

$$\Delta_1 = (\hat{p}^{jn} - c^{jn})^2 f\left(\frac{\hat{p}^{jn} - v - \theta}{\alpha}\right) - (v - c^o) - \eta \quad (9)$$

$$\Delta_2 = (v + \theta - c^n) - (v - c^o) = c^o + \theta - c^n \quad (10)$$

用户和企业不同策略选择下的可能收益如表 3 所示. 表 3 中收益向量第一项为用户效用, 第二项为企业收益.

假设用户和企业两个群体都可以在干中学的过程中逐步地调整交互 NPD 的策略. 即当企业在图 1 第一阶段中选择“开发新产品”的行为, 无论用户是否参与 NPD, 也无论其在图 1 的第二阶段如何定价新产品, 其所得的收益均低于“不开发新产品”的收益, 则企业在后续博弈中将重新选择“不开发新产品”行为; 用户的选择行为与此类似. 分别记用户选择“参与 NPD”和“不参与 NPD”行为策略时的期望收益为 γ_u^p 和 γ_u^{np} , 用户两种策略下的期望收益记为 $\bar{\gamma}_u$. 根据表 3 可得 $\gamma_u^p = y(\lambda - \delta_u) + (1 - y)(-\delta_u) = y\lambda - \delta_u$, $\gamma_u^{np} = 0$, $\bar{\gamma}_u = x\gamma_u^p + (1 - x)\gamma_u^{np} = x(y\lambda - \delta_u)$.

表 3 用户和企业不同行为策略选择下的可能收益

Table 3 Benefits of users and enterprise under different strategies

各种可能策略选择的收益		企业	
		以概率 $y(t)$ 开发新产品	以概率 $1 - y(t)$ 不开发新产品
用户	以概率 $x(t)$ 参与 NPD	$(\lambda - \delta_u, p^o - c^o + \Delta_1 - \delta_e^n)$	$(-\delta_u, p^o - c^o)$
	以概率 $1 - x(t)$ 不参与 NPD	$(0, p^o - c^o + \Delta_2 - \delta_e^n)$	$(0, p^o - c^o)$

根据 Malthusian 动态方程, 即行为策略选择概率的增长率等于它的相对适应度: 只要采取这个策略的个体适应度比群体的平均适应度高, 那么这个行为策略被选择的概率就会增长^[20]. 因此, 用户选择参与 NPD 概率变化的动力学方程为

$$\frac{dx}{dt} = x(\gamma_u^p - \bar{\gamma}_u) = x(1 - x)(y\lambda - \delta_u) \quad (11)$$

记 $G_u(x, y) = x(1 - x)(y\lambda - \delta_u)$. 同理, 分别记

企业选择“开发新产品”和“不开发新产品”行为策略的望收益为 γ_e^p 和 γ_e^{np} , 企业两种策略下期期望收益记为 $\bar{\gamma}_e$. 根据表 2 可得

$$\gamma_e^p = v^o - c^o + x(\Delta_1 - \Delta_2) + \Delta_2 - \delta_e^n,$$

$$\gamma_e^{np} = v^o - c^o,$$

$$\bar{\gamma}_e = y\gamma_e^p + (1 - y)$$

$$\gamma_e^{np} = v^o - c^o + y(x(\Delta_1 - \Delta_2) + \Delta_2 - \delta_e^n).$$

因此,企业选择开发新产品的概率变化的动力学方程为

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} &= y(\gamma_e^p - \bar{\gamma}_e) \\ &= y(1-y)(x(\Delta_1 - \Delta_2) + \Delta_2 - \delta_e^n) \quad (12) \end{aligned}$$

记 $G_e(x, y) = y(1-y)(x(\Delta_1 - \Delta_2) + \Delta_2 - \delta_e^n)$. 式(11)和式(12)分别反映了用户和企业双方博弈学习的速度和方向.

当式(11)和式(12)概率变化为零时博弈达到一种相对稳定的均衡状态,说明参与人的学习速度为零.故求解方程组 $\frac{dx}{dt} = 0$ 和 $\frac{dy}{dt} = 0$,可以得到企业与用户交互 NPD 的混合均衡策略 (\bar{x}, \bar{y}) . 均衡点 (\bar{x}, \bar{y}) 的局部稳定性,可以通过博弈双方的复制动态方程联立方程组对应的雅克比矩阵的分析得出.

由式(11)和式(12)得演化博弈的雅克比矩阵为

$$\begin{aligned} J &= \begin{pmatrix} \frac{\partial G_u(x, y)}{\partial x} & \frac{\partial G_u(x, y)}{\partial y} \\ \frac{\partial G_e(x, y)}{\partial x} & \frac{\partial G_e(x, y)}{\partial y} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} (1-2x)(\gamma\lambda - \delta_u) & x(1-x)\lambda \\ y(1-y)(\Delta_1 - \Delta_2 - \eta) & (1-2y)(x(\Delta_1 - \Delta_2) + \Delta_2 - \delta_e^n) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

上述雅克比矩阵的行列式和迹分别为

$$\begin{aligned} Det(J) &= (1-2x)(1-2y)(\gamma\lambda - \delta_u) \times \\ &\quad (x(\Delta_1 - \Delta_2) + \Delta_2 - \delta_e^n) - \\ &\quad xy\lambda(1-x)(1-y)(\Delta_1 - \Delta_2) \quad (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} tr(J) &= (1-2x)(\gamma\lambda - \delta_u) + (1-2y) \times \\ &\quad (x(\Delta_1 - \Delta_2) + \Delta_2 - \delta_e^n) \quad (14) \end{aligned}$$

演化博弈均衡策略 (\bar{x}, \bar{y}) 稳定当且仅当该策略对应的 $Det(J) > 0$, $tr(J) < 0$.

利用命题 1 和推论 1、推论 2 的结果可以验证

$$\begin{aligned} \Delta_1 - \Delta_2 &= (\hat{p}^m - c^m)^2 f\left(\frac{\hat{p}^m - v^o - \theta}{\alpha}\right) - \\ &\quad (v^o + \theta - c^n) - \eta \quad (15) \end{aligned}$$

故当 $\eta < (\hat{p}^m - c^m)^2 f\left(\frac{\hat{p}^m - v^o - \theta}{\alpha}\right) - (v^o + \theta - c^n)$ 时 $\Delta_1 > \Delta_2$; 否则 $\Delta_1 \leq \Delta_2$.

注意到 η 为企业研发产品 j_n 相对于产品 n 的研发成本大小, $\Delta_1 - \Delta_2$ 为企业研发并生产产品 j_n 相比于产品 n 的净利润增量的大小. 式(15)表明,存在一个净利润增量的阈值 τ

$$\begin{aligned} \tau &\triangleq (\hat{p}^m - c^m)^2 f\left(\frac{\hat{p}^m - v^o - \theta}{\alpha}\right) - \\ &\quad (v^o + \theta - c^n) \quad (16) \end{aligned}$$

当 $\eta < \tau$ 时, $\Delta_1 > \Delta_2$; 当 $\eta \geq \tau$ 时, $\Delta_1 \leq \Delta_2$.

根据 η 的相对大小,可以证明下述结论.

命题 2^③ 当 $\eta < \tau$ 时,企业与用户行为均衡策略 (\bar{x}, \bar{y}) 的稳定性满足下述性质:

- 1) 当 $\delta_u < \lambda$ 且 $\delta_e^n < \Delta_2$ 时,不存在演化稳定策略;
- 2) 当 $\delta_u < \lambda$ 且 $\delta_e^n > \Delta_1$ 时,“用户不参与 NPD 且企业不开发新产品”为演化稳定策略;当 $\delta_u < \lambda$ 且 $\Delta_2 < \delta_e^n < \Delta_1$ 时,“用户参与 NPD 且企业开发新产品”或者“用户不参与 NPD 且企业不开发新产品”均为演化稳定策略.
- 3) 当 $\delta_u \geq \lambda$ 且 $\delta_e^n > \Delta_2$ 时,“用户不参与 NPD 且企业不开发新产品”为演化稳定策略;当 $\delta_u \geq \lambda$ 且 $\delta_e^n \leq \Delta_2$ 时,“用户不参与 NPD 且企业开发新产品”为演化稳定策略.

命题 2 的结果如图 2 所示.

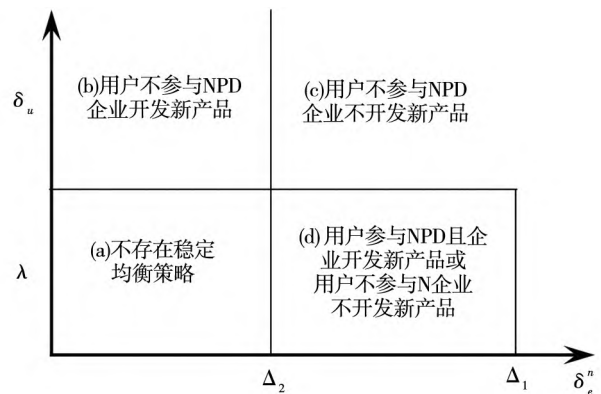


图 2 当 $\eta < \tau$ 时稳定演化均衡策略示意图

Fig. 2 Illustration of the stable evolutionary equilibrium strategies when $\eta < \tau$

在图 2 中,当共同研发相对于独立研发新产品的企业研发成本较小($\eta = \delta_e^m - \delta_e^n < \tau$)时,命题 2 确定的稳定演化均衡策略有如下特征:

- 1) 当用户企业双方的研发成本都很低($\delta_u <$

③ 如需命题 2 的推导过程,可联系作者获取.

λ 且 $\delta_e^n < \Delta_2$, 图2 区域(a)) , 双方研发演化博弈也不存在稳定均衡策略, 其它条件下均存在稳定演化均衡策略. 这是由于此时用户在企业不参与的情形下偏向于不参与, 却在企业参与的情况下偏向于参与.

2) 当用户研发成本较低($\delta_u < \lambda$) 且企业研发成本中等($\Delta_2 < \delta_e^n < \Delta_1$) 时(图2 区域(d)) , “用户参与 NPD 且企业开发新产品”才有可能成为演化稳定策略, 其它条件下均不存在用户参与企业新产品开发的稳定演化均衡策略.

3) 当用户研发成本高($\delta_u \geq \lambda$) 但企业独立研发成本低($\delta_e^n < \Delta_2$) 时, “用户不参与 NPD 且企业开发新产品”为演化稳定策略. 即只有当企业独立研发成本低($\delta_e^n < \Delta_2$, 图2 区域(b)) 时, “企业开发新产品”才可能出现在稳定演化均衡策略中.

总之, 用户参与企业新产品开发成为稳定演化均衡策略的必要条件是: 企业研发产品 j_n 相对于独立研发产品 n 的研发成本低(即 $\eta < \tau$); 用户参与研发的成本相对于产品 j_n 对用户的净价值而言较低($\delta_u < \lambda$); 且企业独立研发产品 n 的研发成本中等($\Delta_2 < \delta_e^n < \Delta_1$). 这一结论为企业是否应该选择用户参与企业的新产品开发策略的确定, 创新性地从参与成本与收益(即用户效用和企业利润) 的角度提供了系统的理论指导.

从式(8) ~ 式(10) 中有关 $\lambda, \alpha, \Delta_1$ 和 Δ_2 的定义可知, α 越大(即企业的开放创新能力越强) , 用户和企业越有可能共同研发新产品; 若 k_{max} 越大且服从递增失效率分布 K 的方差越小, 则用户和企业越有可能共同研发新产品. 即用户个体参与差异化程度越大, 不利于用户和企业共同研发新产品. 这一观点与传统的用户参与创新研究结果^[3, 8] 有重要差别: 即在用户参与的企业产品创新中, 企业不应只关注少数创新能力强的领先用户, 而是应该鼓励与赋能更多用户、更深程度地参与产品创新. 由于大规模用户参与也可能导致企业研发产品 j_n 成本的大幅增加, 因此这一结论的适用性还需要结合前述成本与收益等因素, 进行综合权衡.

类似于命题2, 可以证明下列命题3.

命题3 当 $\eta \geq \tau$ 时, 企业与用户行为均衡策略 (\bar{x}, \bar{y}) 的稳定性满足下述性质:

1) 若 $\delta_u < \lambda$ 且 $\delta_e^n < \Delta_2$, 则不存在稳定均衡策略;

2) 若 $\delta_u < \lambda$ 且 $\delta_e^n \geq \Delta_2$, 则“用户不参与 NPD 且企业不开发新产品”是一个稳定均衡策略;

3) 当 $\delta_u \geq \lambda$ 时, 则稳定均衡策略中用户一定“不参与 NPD”. 若 $\delta_e^n < \Delta_2$, 则稳定均衡策略中企业“开发新产品”; 若 $\delta_e^n \geq \Delta_2$, 则稳定均衡策略中企业“不开发新产品”.

命题3 的结果如图3 所示.

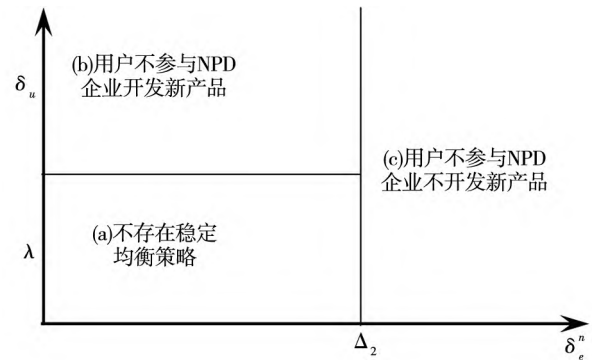


图3 当 $\eta \geq \tau$ 时稳定演化均衡策略示意图

Fig. 3 Illustration of the stable evolutionary equilibrium strategies when $\eta \geq \tau$

在图3 中, 当共同研发相对于独立研发新产品的企业研发成本较大($\eta = \delta_e^{j_n} - \delta_e^n \geq \tau$) 时, 命题3 确定的稳定演化均衡策略有如下特征:

1) 当用户企业双方的研发成本都较低($\delta_u < \lambda$ 且 $\delta_e^n < \Delta_2$, 图3 区域(a)) , 双方研发演化博弈不存在稳定均衡策略, 其它条件下均存在稳定演化均衡策略.

2) 无论用户研发成本(δ_u) 的高低, 均不存在“用户参与 NPD 且企业开发新产品”稳定演化均衡策略;

3) 注意到当 $\eta \geq \tau$ 时, 有 $\Delta_1 \leq \Delta_2$. 只有当企业独立研发成本较小($\delta_e^n < \Delta_2$, 对应图3 的区域(b)) 时, “用户不参与 NPD 且企业开发新产品”为演化稳定策略. 即只有当企业独立研发成本较小时, “企业开发新产品”才可能出现在稳定演化均衡策略中.

综合分析命题2、命题3 的结果, 可以看出, 考虑异质 UDP 的企业新产品开发与定价联合优化策略有如下动态演化规律:

1) 只有当共同研发相对于独立研发新产品的企业研发成本较小($\eta = \delta_e^{j_n} - \delta_e^n < \tau$) , 用户研发

成本较低($\delta_u < \lambda$)且企业研发成本中等($\Delta_2 < \delta_e^u < \Delta_1$)时,“用户参与 NPD 且企业开发新产品”才有可能成为稳定演化均衡策略。

2) 只有当用户研发成本较大($\delta_u \geq \lambda$)且企业独立研发成本较小($\delta_e^u < \Delta_2$)时,企业独立开发新产品才能出现在稳定演化均衡策略中。

3) 当用户企业双方的研发成本都很低($\delta_u < \lambda$ 且 $\delta_e^u < \Delta_2$)时,双方研发演化博弈不存在稳定演化均衡策略。

根据上述稳定演化均衡策略的演化规律,可以得到如下促进异质用户参与企业新产品开发的对策建议:

1) 企业应当努力增强其开放创新能力,降低用户与企业共同研发新产品的成本(δ_e^u)。与企业独立研发新产品的研发成本相比,用户参与企业的 NPD 有可能给企业带来额外的成本,包括:与企业开放式创新的产品设计与结构设计的成本;与企业开放式创新能力有关的相关人员参与互动、评价与发现用户建议的价值而增加相比 δ_e^u 额外的人力成本。换言之,企业应该通过设计适当的开放式创新模式,提升开放式创新能力以降低用户与企业共同研发新产品的成本。

2) 企业应当努力降低用户的研发成本(δ_u)。赋能用户参与,提供用户参与创新和企业 NPD 的工具。

3) 企业应当努力提高共同研发新产品 j_n 的对用户的价值增值(θ)、提高用户参与度 K 的均值并降低其不确定性(K 的方差)。由命题 1 及其推论可知,这样可以提高新产品的定价,提升企业研发并生产产品 j_n 的净利润。

4 结束语

在数字经济的背景下,企业和用户的价值借助新的媒体、新的渠道和新的运作与商业模式而更紧密地联系起来,用户的个人价值主张和个

性化需求能更多地通过用户参与企业的新产品开发得到体现和满足。本文以智能手机、计算机、时装和玩具等制造企业的新产品开发为主要背景,应用演化博弈的方法研究了异质用户参与的新产品开发与定价联合优化策略问题。研究发现:1) 如果用户总体和企业的研发成本都比较低,即便用户企业双方的研发成本较低能使得双方均能从共同研发中得益,也不存在稳定的演化策略。2) 即便企业独立研发成本很高用户研发成本较低而能使其用企双方从共同研发中得益,用企双方共同研发也可能不是演化稳定策略。3) 当企业共同研发成本与独立研发成本差距较小且独立研发成本适中(这里,研发成本的“大”、“小”、“适中”的定义和确定都与用户参与度的统计特征有关)时,用户企业共同研发才有可能是两个演化稳定策略之一。据此本文进一步提出了促进异质用户参与企业新产品开发的对策建议。

在研究用户参与企业创新策略演化分析的基础上,未来一个相关的研究问题是如何设计一个有效的用户 NPD 参与和建议的反馈机制,以通过考虑不同用户个体 NPD 建议的实施成本和效益来仔细选择“正确”的用户想法与建议。例如,企业可以聘请专家评估所有用户 NPD 建议的创新性、潜在商业价值和实施成本,发现和排除低潜力的用户 NPD 建议,然后选择和实施其中的高质量建议。结合本文用户参与度(UPD)的定义可以看出,该反馈机制设计问题本质上是确定一个合适的 UPD 阈值:若某个用户的 UPD 高于该阈值,企业在 NPD 中采纳该用户的建议;反之,不采纳。显然,UPD 的阈值越大,则越少用户的建议被采纳。因此,该反馈机制设计问题可以转化为考虑不同 UPD 对成本、效用影响的 UPD 阈值优化问题。另外,结合具体行业的产品与市场特点,进行用户参与企业创新策略的各种成本与效用参数估计,以计算和分析具体的用户参与企业产品开发策略适用条件和价值,也是未来一个有重要且有意义的研究方向。

参考文献:

[1] 黄丽华,朱海林,刘伟华,等. 企业数字化转型和管理: 研究框架与展望[J]. 管理科学学报,2021,24(8):

26 – 35.

Huang Lihua, Zhu Hailin, Liu Weihua, et al. The firm's digital transformation and management: Toward a research framework and future directions[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2021, 24(8): 26 – 35. (in Chinese)

[2] Li M, Jia S, Du W D. Fans as a source of extended innovation capabilities: A case study of Xiaomi technology[J]. *International Journal of Information Management*, 2019, 44: 204 – 208.

[3] Von H E. *The Sources of Innovation*[M]. New York: Oxford University Press, 1988.

[4] 周建, 周杨雯倩, 叶梁. 两类创新及其与经济增长的协同演化机理[J]. *管理科学学报*, 2022, 25(3): 1 – 21.

Zhou Jian, Zhou Yangwenqian, Ye Liang. Two types of innovations and its co-evolution mechanism with economic growth[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2022, 25(3): 1 – 21. (in Chinese)

[5] Zhou S, Qiao Z, Du Q, et al. Measuring customer agility from online reviews using big data text analytics[J]. *Journal of Management Information Systems*, 2018, 35(2): 510 – 539.

[6] Saldanha T J, Mithas S, Krishnan M S. Leveraging customer involvement for fueling innovation: The role of relational and analytical information processing capabilities[J]. *MIS Quarterly*, 2017, 41(1): 267 – 286.

[7] Bass F M. A new product growth for model consumer durables[J]. *Management Science*, 2004, 50(12_supplement): 1825 – 1832.

[8] Von H E. Democratizing innovation: The evolving phenomenon of user innovation[J]. *Journal Für Betriebswirtschaft*, 2005, 55(1): 63 – 78.

[9] Billington C, Lee H L, Tang C S. Successful strategies for product rollovers[J]. *Sloan Management Review*, 1998, 39(3): 23 – 34.

[10] Van der Borgh M, Schepers J. Are conservative approaches to new product selling a blessing in disguise? [J]. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 2018, 46(5): 857 – 878.

[11] Zeng C. Advance selling of new products considering retailers' learning[J]. *International Journal of Economic Theory*, 2020, 16(3): 306 – 328.

[12] Hua Y, Bao L, Wu X. The product-selling strategy under direct and indirect value identification[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 279(5): 123591.

[13] 郑彤彤, 谢科范. 基于系统动力学的用户创新行为演化分析[J]. *管理学报*, 2015, 12(12): 1824 – 1831.

Zheng Tongtong, Xie Kefan. Analysis of the behavior evolution of user innovation based on system dynamics[J]. *Chinese Journal of Management*, 2015, 12(12): 1824 – 1831. (in Chinese)

[14] Liu W, Xu K, Chai R, et al. Leveraging online customer reviews in new product development: A differential game approach[J]. *Annals of Operations Research*, 2020, 329: 401 – 424.

[15] 毛雅俊. 基于个体多样性的网络演化博弈研究[D]. 博士学位论文, 电子科技大学, 成都, 2021.

Mao Yajun. Research on the Networked Evolutionary Game Theory Based on Diverse Agents[D]. Doctoral Dissertation, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, 2021. (in Chinese)

[16] 谭劲松, 赵晓阳. 创新生态系统主体技术策略研究——基于领先企业与跟随企业的演化博弈与仿真[J]. *管理科学学报*, 2022, 25(5): 13 – 28.

Tan Jinsong, Zhao Xiaoyang. Firms' technological strategies in an innovation ecosystem: A dynamic interaction between leading firms and following firms based on evolutionary game theory and multi-agent simulation[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2022, 25(5): 13 – 28. (in Chinese)

[17] Nambisan S. Designing virtual customer environments for new product development: Toward a theory[J]. *Academy of Management Review*, 2002, 27(3): 392 – 413.

[18] Thomas C, Dunn D T. Partnering with customers[J]. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 1994, 9(1): 34 – 40.

[19] Banciu M, Mirchandani P. Technical note—new results concerning probability distributions with increasing generalized failure rates[J]. *Operations Research*, 2013, 61(4): 925 – 931.

[20] 易余胤, 肖条军, 盛昭瀚. 合作研发中机会主义行为的演化博弈分析 [J]. 管理科学学报, 2005, 8(4): 13-28.

Yi Yuyin, Xiao Tiaojun, Sheng Zhaohan. Evolutionary game analysis on opportunistic behavior in cooperative R&D market [J]. Journal of Management Sciences in China, 2005, 8(4): 13-28. (in Chinese)

Evolutionary game analysis on strategy for new product development with heterogeneous user participation

HUA Ye¹, SUN Jing¹, DONG Yu-fen²

1. School of Management, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. School of Management, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

Abstract: With the rapid development of the digital economy, more and more users are participating in the new product development process of enterprises. Due to the heterogeneity of individual users in terms of ability, personality, and values, this paper proposes the concept of user's participation degree (UPD) to describe the impact of heterogeneous UPD on user's strategy of new product development (NPD) and purchase behavior. An evolutionary game analysis model for new product development strategies under heterogeneous UPD is constructed. It has been found that, stable evolutionary equilibrium strategies in joint product development between enterprises and users are only possible when the difference between the cost of joint NPD by enterprises and users and the cost of independent NPD by enterprises is small, and when the cost of independent NPD is moderate. To promote the participation of heterogeneous users in NPD, enterprises should reduce the cost of joint NPD between users and enterprises, empower users to participate, provide tools for users to participate in NPD, increase the added value of the new products from joint NPD of to users, and increase the average UPD and reduce its uncertainty. This research provides systematic theoretical guidance for enterprises in related industries from the perspectives of UPD characteristics, participation costs, and benefits.

Key words: new product development; new products pricing; user participation; joint optimization; evolution game