

高新技术产业生态系统的演化效应与协同机制

刘和东,刘 权

(南京工业大学 经济与管理学院, 南京 210009)

摘 要:本文分析高新技术产业生态系统内的主体关系及优势,基于Lotka-Volterra模型分析生态系统内主体间关系的演化效应,构建熵变模型分析系统与外部环境演化的协同机制。结果表明:①主体间关系为适度竞争、互利共生、偏利共生演化时,系统群体与个体均衡产出较大;主体间关系为寄生共生演化时,系统群体与个体均衡产出较小;②当边际协同熵等于边际协同负熵时,生态系统协同效率最大;系统持续稳定发展条件是:主体动态学习并从外部引入负熵流,抑制系统内部协同熵增;③主体间的能力匹配是提高系统绩效的重要前提。

关键词:高新技术产业生态系统; Lotka-Volterra模型;熵变模型;协同机制

中图分类号:F414 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2021)01—0099—08

一、引言

当前,国家实施创新驱动发展战略,高新技术产业因其具有独特的创新能力、完备的管理体系,深入到各个国家发展的核心地位;其创新方式由单体式向生态系统的群体式转化。其生态系统类似于自然的生态系统,需要系统内部各要素、主体间的协同才能发挥其最大的作用。从空间看,系统内部存在利益冲突的主体,主体间关系的全方位协同决定着系统能否实现 $1+1>2$ 功能的关键。从时间看,系统能否及时调适以适应动态的外部环境,是决定着其持续向高层次发展的关键。厘清高新技术产业生态系统内主体间关系的演化效应及其与外部环境演化的协同机制、促进高技术产业持续健康发展,是个亟待解决的现实问题。

学者们的相关研究主要集中在以下层面。

(1)高新技术产业。郑代良和钟书华(2010)认为高新技术产业是以运用高新技术对自身的产品进行研发、改良,集生产、服务、一体化的技术密集型企业构成的产业。李承宏和李澍(2017)通过对高新技术产业创新的外部政策分析,认为政策目标、政策力度对高新技术产业的发展有着重要影响。王方(2013)认为我国高新技术产业发展要遵循中国经济特色,并形成集聚式创新。

(2)产业创新生态系统。Lee et al(2000)认为,要想创造出一个富含创新力的经济体,必须建立一个完整的产业创新生态系统。Moore(1993)认为产业创新生态系统通过产业间相互补足资源、融资、战略选择、合作选择来创造价值。Adner和Kapoor(2010)提出,产业创新生态系统中的各个部分相互影响、共同演进,通过主体内部的互补性协作,可以创造出“ $1+1>2$ ”的价值。王发明和朱美娟(2019)提出产业创新生态系统主要分为核心企业、配套企业两大群落。

(3)高新技术产业创新生态系统。第一,内涵结构与内部运行机制。李万等(2014)通过将创新群体与生物学相互结合,从生态学角度出发指出,高新技术产业创新生态系统的基本组成“物种”为大学、企业、政府、研究所等,物种间的联合形成群落,最终形成高新技术产业创新生态系统。张巍巍等(2015)基于自身实际调研指出,高新技术产业创新生态系统是由大学、研究机构、风险投资等为主体,通过政府政策、法律体系、关系网络、人才库等为纽带建立的生态系统。董铠军(2017)研究指出,创新生态系统存在层次性,特定的区域存在不同的层次,可将其分为国家创新高新技术产业创新生态系统、区域创新生态系统、企业创新生态系统。Dhanaraj和Parkhr(2006)指出创新生态系统的核心企业是整个系统关键组成部分,并且核心企业在系统协调中起到关键作用。杨剑钊和李晓娣(2016)分析了高新技术产业生态系统的协同、共生等机制,认为各个机制协调发展为系统保持创新动力。张利飞(2009)认为,基于开放的平台,系统的运行机制更加灵活。何向武

收稿日期:2020—04—14

基金项目:国家社会科学基金“基于能力匹配与行为协同的高新技术企业合作创新绩效研究”(18BGL043)

作者简介:(通讯作者)刘和东,博士,南京工业大学经济与管理学院教授,博士研究生导师,研究方向:知识产权与科技创新管理;刘权,南京工业大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:知识产权与科技创新管理。

和周文泳(2019)以我国医药行业为例探究了高新技术产业创新生态系统的演化关系。张运生(2010)认为高新技术的竞争已经从单一竞争进化为技术生态竞争。第二,生态位。钱辉和张大亮(2006)指出高新技术企业的生态位描述了企业与其活动环境的一种均衡状态。万伦来(2004)指出,高新技术企业的生态位可分解为发展、竞争与生存条件。刘钊等(2019)基于生态位视角对创新生态系统进行健康诊断,提出不同区域应采取差异化的思路与途径。赵广凤等(2017)通过分析创新产业的构成指出,创新生态系统想要建立开放式平台、基于生态位决策、高效运营,需要提高生态系统的核心竞争力与核心影响力。第三, Lotka-Volterra 模型运用。龙跃等(2016)指出,该模型最初针对的是捕食者-猎物关系,很多学者将其应用于产业创新联盟等领域。Morris 和 Pratt(2003)将 Lotka-Volterra 模型引用于产业技术创新联盟中,认为合作群体演化的方向对系统是否成功运行起着关键作用。郭燕子和武忠(2012)借用 Lotka-Volterra 模型的特性研究了产业技术创新网络,并厘清其网络中知识的传播机理。

综上,已有研究促进了高新技术产业发展。然而,学者们要么只侧重于研究系统的内涵结构与内部运行机制,忽视系统主体与环境演化的协同机制;要么侧重于研究外部环境的生态位,忽视了生态系统内部主体的关系演化效应。高新技术产业创新生态系统内主体间关系如何?其演化效应如何?主体与外部环境的协同机制如何?现有文献很少有完整回答。为此,本文首先分析高新技术产业生态系统(即指高新技术产业创新生态系统)内主体关系及优势;其次,运用 Lotka-Volterra 模型深入分析生态系统内主体间关系的演化效应(从高新技术产业创新生态系统看,系统主体包括企业、上下游企业、高校科研机构、政府、金融中介等,企业与企业、企业与高校科研机构间既存在竞争关系,也存在合作关系。主体间的协同关系符合 Lotka-Volterra 模型的表征要求,适合用此模型解释);再次,构建熵变模型分析系统主体演化与外部环境的协同机制;最后,提出针对性政策建议。

二、高新技术产业生态系统内的主体关系及优势

(一)系统内主体间关系及特性

高新技术产业生态系统为了提升创新的绩效与水平,强调以协作为核心,借助信息技术尤其是互联网+开展跨界融合,通过不同行业的供应商、顾客、互补者、替代者及同行的合作与竞争,建立基于竞争、互利共生等关系的协作共同体。共同体通过以下特性,获得多种关系优势(图1)。

(1)内部强调异质性。通过多元主体、多元要素参与,不同主体间的相互融合,系统内要素越多元异质,要素间连接就越畅通,就越能挖掘多样性的创新成果,系统更具有活力。

(2)内部强调互惠性。基于未来预期与共同利益,形成长期信任的关系优势,内部主体相互支持,形成共同的价值观、行为规范与网络治理机制。共同体间降低了搜寻与交易成本,减少机会主义行为,增加合作成功的概率。

(3)内部强调嵌入性。基于嵌入网络位置、关系带来的信息优势和学习优势。高新技术产业创新生态系统是一种强弱关系的结合,弱关系促进共同体间的交流、异质信息的获取;强关系降低成员间知识搜寻成本,促进相互学习和知识溢出,有利于创新积累。

(4)强调内部成员的共同行动。通过分工与协同,提升了其应对外部不确定性能力,提高对外界的敏捷性与反应速度,加速了创新进程,降低创新风险(张贵等,2018)。

(二)企业创新优势

高新技术产业生态系统(以下简称“生态系统”)是企业间以技术标准为纽带,内、外能力的协同、共存共生的技术创新群体。企业通过对原有核心资源和能力的重组,以及对外部资源与能力的连接,合力互补,构建新战略资源与新核心能力的复制壁垒,形成了新李嘉图租金。企业间形成竞争、互利共生等的组织关系,

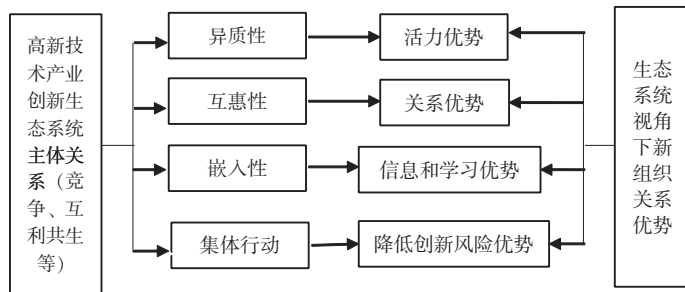


图1 生态系统视角下新组织关系优势

通过竞合,将主体间的“异心圆”变成“同心圆”,形成创新群体合力,构建基于利益共同体的关系租。

(三)产业竞争优势

生态系统强调产业内的创新主体与创新环境的相互作用。将原来线性的产业链、价值链演化成产业网,将产业“战争圈”演化为“和谐圈”。通过产业创新要素的集聚、重组,通过产业网络的跨界整合,促进产业升级,形成不断创新的产业优势,构建新进入壁垒的新张伯伦租。

三、基于 Lotka-Volterra 模型分析系统内主体间关系的演化效应

本文通过构建 Lotka-Volterra(L-V 种群竞争)模型,分析系统主体间不同关系演变对系统创新产出的影响。

(一)竞争共生演化

设高新技术产业生态系统中存在竞争共生的互相满足高新技术供需服务需求的一个核心企业和一个配套企业,建立系统内部 L-V 种群的竞争共生演化模型:

$$\begin{cases} \frac{dP(t)}{dt} = R_1 \times P(t) \left[1 - \frac{P(t)}{M_1(t)} - \alpha \frac{Q(t)}{M_2(t)} \right] \\ \frac{dQ(t)}{dt} = R_2 \times Q(t) \left[1 - \frac{Q(t)}{M_2(t)} - \beta \frac{P(t)}{M_1(t)} \right] \end{cases} \quad (1)$$

其中: R_1 表示生态系统中核心企业的产出固有增长率; R_2 表示生态系统中高新技术配套组织的产出固有增长率;个体间的竞争抑制作用系数为 $\alpha, \beta (\alpha > 0, \beta > 0)$;个体产出水平分别为 $P(t), Q(t)$,是关于时间 t 的函数;个体经营空间的限制分别为 $M_1(t), M_2(t)$,亦是关于时间 t 的函数;竞争作用影响系数分别为 α, β ,假定双方生产能力与活动空间成正相关。且 $M_1(t) = P_0(t), M_2(t) = Q_0(t), P_0(t), Q_0(t)$ 分别为竞争共生前的初始产出,生态系统群体竞争共生前的初始产出为 $W_0 = M_1 + M_2$ 。

当 $\frac{dP(t)}{dt} = 0, \frac{dQ(t)}{dt} = 0$,得到系统的稳定点为 $E_1(0, 0), E_2(0, M_2), E_3(M_1, 0), E_4\left(M_1 \frac{1-\alpha}{1-\alpha\beta}, M_2 \frac{1-\beta}{1-\alpha\beta}\right)$,

个体均衡产出为 $P(a) = M_1 \frac{1-\alpha}{1-\alpha\beta}, Q(a) = M_2 \frac{1-\beta}{1-\alpha\beta}$,生态系统群体竞争共生的均衡产出为: $W_a = M_1 \frac{1-\alpha}{1-\alpha\beta} + M_2 \frac{1-\beta}{1-\alpha\beta}$ 。

(1) 当 $0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1$ 时, $1 + \alpha > 1 - \alpha\beta, 1 + \beta > 1 - \alpha\beta, 1 - \alpha\beta > 0, \frac{1-\alpha}{1-\alpha\beta} > 1, \frac{1-\beta}{1-\alpha\beta} > 1$,所以 $M_1 \frac{1-\alpha}{1-\alpha\beta} > M_1, M_2 \frac{1-\beta}{1-\alpha\beta} > M_2$,可得 $W_a = M_1 \frac{1-\alpha}{1-\alpha\beta} + M_2 \frac{1-\beta}{1-\alpha\beta} > M_1 + M_2 = W_0$ 。在适度竞争的情况下,创新生态系统群体竞争共生的均衡产出大于初始产出。

(2) 当 $\alpha > 1, \beta > 1$ 时, $1 + \alpha > 1 - \alpha\beta, 1 + \beta > 1 - \alpha\beta, 1 - \alpha\beta < 0, \frac{1-\alpha}{1-\alpha\beta} < 1, \frac{1-\beta}{1-\alpha\beta} < 1$,所以 $M_1 \frac{1-\alpha}{1-\alpha\beta} < M_1, M_2 \frac{1-\beta}{1-\alpha\beta} < M_2$,可得 $W_a = M_1 \frac{1-\alpha}{1-\alpha\beta} + M_2 \frac{1-\beta}{1-\alpha\beta} < M_1 + M_2 = W_0$ 。

在恶性竞争的情况下,生态系统竞争共生的群体均衡产出<初始产出。于是得出以下结论。

结论 1:适度竞争关系有利于提高系统群体及个体演化的均衡产出,恶性竞争不利于系统的良性演化。

结论 1 可从苹果公司的创新生态系统中得到验证。苹果公司开发 ios 系统,该系统只用于苹果自身产品,为鼓励独立的软件开发者为它的机器编写程序,它有限授权第三方伙伴使用。苹果公司与其他伙伴保持适度竞争关系,不仅提高了生态系统群体的均衡产出,也提高了苹果公司与合作伙伴的均衡产出。

(二)互利共生演化

设高新技术产业生态系统中存在竞争共生的互相满足高新技术供需服务需求的一个需求企业种群和一个供给组织(大学与研究机构)种群,建立系统内部 L-V 种群互利共生演化模型:

$$\begin{cases} \frac{dP(t)}{dt} = R_1 \times P(t) \left[1 - \frac{P(t)}{M_1(t)} + \alpha \frac{Q(t)}{M_2(t)} \right] \\ \frac{dQ(t)}{dt} = R_2 \times Q(t) \left[1 - \frac{Q(t)}{M_2(t)} + \beta \frac{P(t)}{M_1(t)} \right] \end{cases} \quad (2)$$

其中: $\alpha, \beta (\alpha > 0, \beta > 0)$ 表示主体间的互利作用系数,值越大,则说明它们为对方提供收益的能力越强。

当 $\frac{dP(t)}{dt} = 0, \frac{dQ(t)}{dt} = 0$,得到系统的稳定点为: $E_1(0, 0), E_2(0, M_2), E_3(M_1, 0), E_4\left(M_1 \frac{1+\alpha}{1-\alpha\beta}, M_2 \frac{1+\beta}{1-\alpha\beta}\right)$,

个体均衡产出 $P(h) = M_1 \frac{1+\alpha}{1-\alpha\beta}, Q(h) = M_2 \frac{1+\beta}{1-\alpha\beta}$,生态系统群体互利共生的均衡产出为 $W_h = M_1 \frac{1+\alpha}{1-\alpha\beta} + M_2 \frac{1+\beta}{1-\alpha\beta}$ 。

互利共生的条件是 $1 - \alpha\beta > 0$,即 $\alpha\beta < 1$ 。在互利共生条件下, $P(h) = M_1 \frac{1+\alpha}{1-\alpha\beta} > M_1(1+\alpha) > M_1, Q(h) = M_2 \frac{1+\beta}{1-\alpha\beta} > M_2(1+\beta) > M_2$,个体均衡产出均大于初始产出。 $W_h = M_1 \frac{1+\alpha}{1-\alpha\beta} + M_2 \frac{1+\beta}{1-\alpha\beta} > M_1 + M_2 = W_0$ 即系统群体均衡产出>初始产出。于是得出以下结论。

结论2:互利共生关系有利于提高系统群体与个体演化的均衡产出。

结论2可从苹果公司的创新生态系统中得到验证。苹果公司同商业伙伴一起工作,谈论“宣扬神的好消息”、鼓励共同演化,公司牢固控制基础的计算机设计和操作系统软件,鼓励独立的软件开发者为它的机器编写程序,他还与独立的杂志、计算机商店、培训机构等合作。苹果公司与其他伙伴保持互利共生关系,有利于提高生态系统群体、苹果公司、合作伙伴的均衡产出。

(三)偏利共生演化

设高新技术产业生态系统中存在竞争共生的、互相满足高新技术供需服务需求的一个核心企业(偏利)和一个配套组织,建立系统内部L-V种群的偏利共生演化模型:

$$\begin{cases} \frac{dP(t)}{dt} = R_1 \times P(t) \left[1 - \frac{P(t)}{M_1(t)} + \alpha \frac{Q(t)}{M_2(t)} \right] \\ \frac{dQ(t)}{dt} = R_2 \times Q(t) \left[1 - \frac{Q(t)}{M_2(t)} \right] \end{cases} \quad (3)$$

其中:群体间的竞争抑制作用系数为 $\alpha, \beta (\alpha > 0, \beta > 0)$;

当 $\frac{dP(t)}{dt} = 0, \frac{dQ(t)}{dt} = 0$,得到系统的稳定点为: $E_1(0, 0), E_2(0, M_2), E_3(M_1, 0), E_4\left(M_1 \frac{1+\alpha}{1-\alpha\beta}, M_2\right)$,均衡产

出 $P(c) = M_1 \frac{1+\alpha}{1-\alpha\beta} > M_1(1+\alpha) > M_1, Q(c) = M_2$,核心企业的个体均衡产出大于其独立运作时的初始产出。

群体均衡产出和为 $W_c = M_1 \frac{1+\alpha}{1-\alpha\beta} + M_2 > M_1(1+\alpha) + M_2 > M_1 + M_2 = W_0$,群体均衡产出大于共生前的初始产出。于是得出以下结论。

结论3:偏利共生关系有利于提高系统群体与偏利个体演化的均衡产出。

(四)寄生共生演化

设高新技术产业生态系统中存在竞争共生的互相满足高新技术供需服务需求的一个核心企业(被寄生)和一个配套企业(寄生),建立系统内部L-V种群的寄生共生演化模型:

$$\begin{cases} \frac{dP(t)}{dt} = R_1 \times P(t) \left[1 - \frac{P(t)}{M_1(t)} + \alpha \frac{Q(t)}{M_2(t)} \right] \\ \frac{dQ(t)}{dt} = R_2 \times Q(t) \left[1 - \frac{Q(t)}{M_2(t)} - \beta \frac{P(t)}{M_1(t)} \right] \end{cases} \quad (4)$$

其中:核心企业与配套企业的相互竞争抑制作用系数为 $\alpha, \beta (0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1)$ 。

当 $\frac{dP(t)}{dt} = 0, \frac{dQ(t)}{dt} = 0$, 得到系统的稳定点为: $E_1(0, 0), E_2(0, M_2), E_3(M_1, 0), E_4\left(M_1 \frac{1+\alpha}{1+\alpha\beta}, M_2 \frac{1-\beta}{1+\alpha\beta}\right)$,
 $P(j) = M_1 \frac{1+\alpha}{1+\alpha\beta} < M_1(1+\alpha) < M_1, Q(j) = M_2 \frac{1-\beta}{1+\alpha\beta} < M_2(1-\beta) < M_2$, 可见, 核心与配套企业的个体均衡产出均小于其初始产出。

群体均衡产出和为 $W_j = M_1 \frac{1+\alpha}{1+\alpha\beta} + M_2 \frac{1-\beta}{1+\alpha\beta} < M_1 + M_2 = W_0$, 群体均衡产出小于共生前的初始产出。

由此得出以下结论。

结论4:寄生共生关系不利于提高系统群体与个体演化的均衡产出。

四、高新技术生态系统演化与外部环境的协同机制

(一)演化动力

高新技术产业生态系统演化动力分为内生动力和外在动力, 内生动力来自创新主体的新颖性、创造性。新奇是主体的创造性心智活动, 新奇推动创新主体不断进行创造性, 搜寻未知机会, 不断创造出新的市场和技术。外部动力包括技术进步、市场需求、制度变迁3个方面(图2)。

不同阶段演化动力不同。孕育期, 从兴起到多样化阶段。对互补组织资源的需求与获取是生态系统演化初期的核心动力。成长期, 从多样化到系统整合阶段。网络成员间及其与环境不断交互产生新的资源即网络资源。对网络资源的追逐是生态系统及企业成长期的主要动力。成熟期, 从系统融合到产业巩固阶段。前期积累的技术和能力得到集中爆发, 主体的集体行动产生了包括核心技术的产生、快速的反应能力等协同的系统资源, 对协同系统资源的获取是成熟期的主要动力。衰退期, 从产业巩固到系统更新阶段。系统刚性增加, 物种同质性增多; 如何通过变革获得创新要素增加节点的异质性, 如何跨越临界点, 建立新的平衡获得突破性创新, 是衰退期系统演化的主要动力。

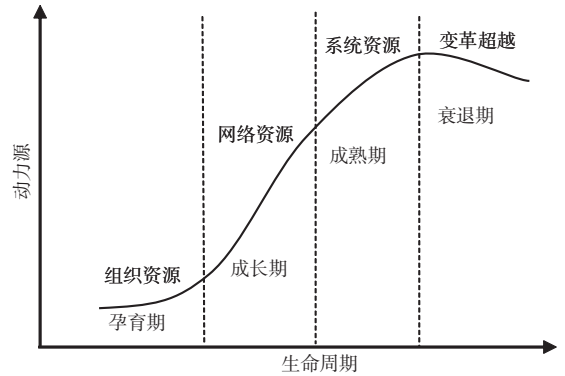


图2 高新技术产业生命周期不同阶段演化的动力源

(二)系统协同的熵变过程与调适

高新技术产业创新生态系统主体间协同演化及其与外部环境的协同演化, 是系统健康有序发展的关键。Lotka-Volterra模型是分析主体如何通过各种竞争关系演化促进创新生态系统协同发展。然而, 熵变效应可能导致系统协同效率递减, 进而引发主体系统从协同有序到无序甚至衰退。相反, 如果主体系统不断从外部环境吸收物质、信息等, 会促进系统从低度协同向高度协同转化。通过熵理论分析, 建立协同负熵, 可为系统主体协同的方向辨识与调控决策提供科学依据。

协同熵产生于系统内部主体间的市场过度竞争、管理体系不健全、规划和运行不协调、产业结构比例不尽合理、主体多样性及数量规模限制等阻力, 协同熵表现无序、混乱的演化状态, 对于高新技术产业创新生态系统带来消极、负面影响。

协同负熵产生于生态系统的基础设施建设、政府政策、外来投资、技术与管理变革、主体协作等形成的各种类型驱动力, 通过与外界获取物质、信息、能量和资源支持, 而协同负熵则意味着有序和再生, 表现为有序、规则的演化状态。给系统带来积极、正面影响, 消减熵值产生的负面影响。

根据申农1948年将信息论与熵相结合得到熵关系模型:

$$I = -K \sum_{p=1}^n K_p \sum_{q=1}^m X_{pq} \ln X_{pq} \quad (5)$$

$$E = K \sum_{a=1}^n K_a \sum_{b=1}^m X_{ab} \ln X_{ab} \quad (6)$$

其中: K 表示一个常量,即协同熵系数,即系统在特定行为中增加单位收益需增加的成本; p 表示影响协同熵变化的各种因素, $p=1,2,\dots,n$; q 表示第 p 个影响因素所包含的子因素个数, $q=1,2,\dots,m$; K_p 表示在特定时间内对系统协同影响的各因素的权重; X_{pq} 表示第 p 个因素中包含的第 q 个子因素对协同熵变化值影响的概率, $\sum_{q=1}^m X_{pq}=1$; a 表示影响协同负熵变化的各种因素, $a=1,2,\dots,n$; b 表示第 a 个影响因素所包含的子因素个数, $b=1,2,\dots,m$; K_a 表示在特定时间内对系统协同影响的各因素的权重; X_{ab} 表示第 a 个因素中包含的第 b 个子因素对协同负熵变化值影响的概率, $\sum_{b=1}^m X_{ab}=1$ 。

对于生态系统,系统的协同熵($I \geq 0$)、协同负熵($E \in R$)、协同总熵 T 可以表示为

$$W_T = W_I + W_E \quad (7)$$

任何一个时刻,两种不同性质的“熵”同时作用于同一高新技术产业生态系统。主体间协同效率是协同熵与协同负熵在系统中的主导地位决定,协同效率是协同熵与协同负熵的效应边际决定(图3)。表现在生态系统不同时间协同总熵 W_T 的值不同。

(1)投入与成长期。在A点左侧,由于创新主体数量较少,协同熵产生的无序性较小,而系统从外界获得各种物质、信息、能量、资源等,如政府为促进高新区发展,吸收高新区企业入驻,给予各种优惠政策扶持、鼓励风险投资、免费咨询与服务,协同负熵增加创新生态系统的有序性,外部引入的负熵最大,负熵主导,边际协同负熵>边际协同熵时

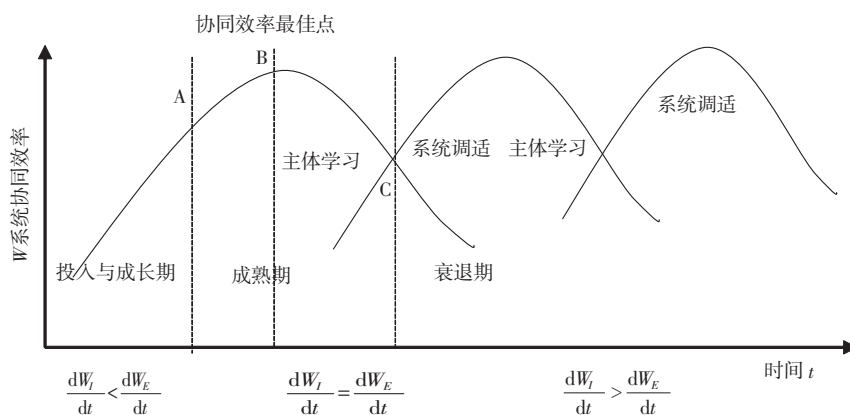


图3 高新技术产业创新生态系统整体协同效率最佳时机的熵变效应分析

大,负熵主导,边际协同负熵>边际协同熵时 $\left(\frac{dW_I}{dt} < \frac{dW_E}{dt}\right)$,创新生态系统的协同效率处在上升期。

(2)成熟期。在达到AC期间,随着创新主体的不断进入,竞争会越来越激烈,由于系统生存的空间有限,协同熵不断增加,并且其增长速度 $\frac{dW_I}{dt}$ 不断增加,而系统从外部的负熵增长速度 $\frac{dW_E}{dt}$ 会逐渐减少,直到B点时,边际协同负熵=边际协同熵 $\left(\frac{dW_I}{dt} = \frac{dW_E}{dt}\right)$,创新生态系统的协同效率达到巅峰值,是协同效率的最佳点。此时,系统最佳变革的有利条件成熟:系统需求稳定、产业结构合理、主体竞争有序、系统生态秩序形成。

(3)衰退期。C点以后,由于系统生存的空间有限,竞争更加激烈,熵不断增加,并且其增长速度 $\frac{dW_I}{dt}$ 进一步加大,而系统从外部引入的负熵增长速度 $\frac{dW_E}{dt}$ 进一步减少, $\frac{dW_I}{dt} > \frac{dW_E}{dt}$,创新生态系统由熵(表现为无序、衰退)占主导地位,协同效率进一步降低。因此,系统主体必须动态学习、从外部吸收正能量来维护系统的自我更新,通过负熵的有序来削弱协同熵的无序。如通过学习外部先进技术、管理体制变革等,即时进入新的一个生命周期的投入成长期。由此可得出以下结论。

结论5:当边际协同熵等于边际协同负熵时,生态系统协同效率最大;系统持续稳定发展条件是:主体动态学习并从外部引入负熵流,抑制系统内部协同熵增。

苹果的iPod不仅是一个产品,而是一个技术整合平台。通过动态学习从外部引入负熵流,整合了全球的创新资源,苹果不断从创新生态系统中吸收最有潜力的技术形成标准。通过动态学习保持了系统持续稳定发展。

(三)创新主体内外协同演化机制

生态系统中,企业内外创新网络协同演化提升系统群体创新能力的机制(图4)。

(1) 内外协同。企业通过内部开发,个体突破性创新能力得到积累,学习能力与吸收能力得到提升,更有利于参与更广阔创新网络的跨主体学习。学习能力提升有利于获得其他主体的多元性知识;吸收能力提升有利于吸收其他主体的知识溢出。如图2中线路①②所示。

(2)外内协同。创新系统外部网络为企业提供多样化资源,企业通过与外部网络的学习机制(获得多元性知识),通过吸收能力的提升,进一步加强内部研发能力,企业

(3) 内外协同循环。企业突破性创新能力得到积累后,通过反馈加强了高新技术产业创新生态系统群体能力的提升,系统通过循环提升相关主体的能力,企业主体与生态系统其他主体间的能力匹配与动态学习机制,能力持续提升如图2中线路④⑤所示。由此得到出以下结论。

结论6:高新技术产业生态系统演化过程中,创新主体间的能力匹配是提高创新生态系统绩效的重要前提。

横向创新生态系统由于存在竞争,技术学习较难,合作主体间能力差异性容易导致冲突。能力强的一方可能把核心技术带走,退出创新生态系统。例如,2008年,华为与赛门铁克公司合作,前者是电信网络解决方案供应商,后者存储和安全软件制造商,华为与其合作目的在于学习其技术知识,当华为获得关键技术后就终止了合作,最终以2012年华为收购该公司而告终。

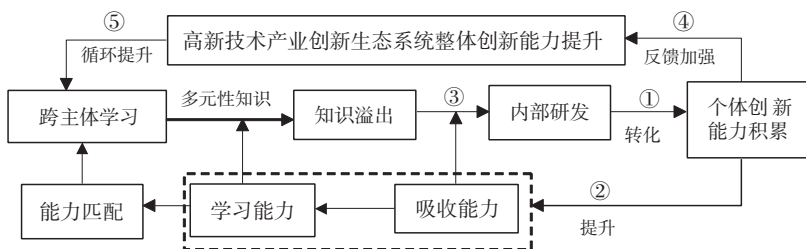


图4 创新生态系统种群内外协同演化提升整体创新能力机制

五、结论与政策建议

(一) 结论

本文分析了高新技术产业生态系统的主体关系及优势,运用 Lotka-Volterra 模型深入分析生态系统内主体间关系的演化效应;构建熵变模型分析系统主体与外部环境演化的协同机制。本文研究结论如下。

(1)在高新技术产业生态系统演化过程中,主体间的关系不同,对系统群体与个体演化的均衡产出有不同的影响效应。表现在:①适度竞争关系有利于提高系统群体及个体的均衡产出,恶性竞争不利于系统的良性演化;②互利共生关系有利于提高系统群体与个体演化的均衡产出;③偏利共生关系有利于提高系统群体与偏利个体演化的均衡产出;④寄生共生关系不利于提高系统群体与个体演化的均衡产出。

(2)当边际协同熵等于边际协同负熵时,高新技术产业生态系统协同效率最大;系统持续稳定发展条件是:主体动态学习并从外部引入负熵流,抑制系统内部协同熵增。

(3)高新技术产业生态系统演化过程中,创新主体间的能力匹配是提高生态系统绩效的重要前提。

(二) 政策建议

(1)构建适度竞争的共生环境。形成良性适度竞争环境,不仅使得高新技术产业创新生态系统群体与个体产出收益增加;同时可以促进主体内部间关系和谐,保证系统稳定向高层次有序结构演化。

(2)建立互利共生的协同生态环境。系统作为联合创新的群体,必须保持和谐、高效的发展态势,群体间的互利共生尤为重要(仵凤清,2012)。互利共生的核心是双赢。①确保群体间资源分配均等;②生态系统应当出台合理的政策确保主体间的地位平等、利益与权益分配平等。

(3)避免偏利共生的生态环境。首先,应当明确各群体间的目标、任务;其次,明确对联合产出的分配;最后,制定公开、透明的分配制度,确保分配的公平、公正。

(4) 杜绝寄生的共生态环境。寄生出现最主要的原因是寄生群体存在依赖性。为此, 必须做到: ①应当明确各个主体的主要职责; ②对于寄生主体予适当的惩罚。

(5)抑制与削弱正向协同熵变,发挥与强化负向协同熵变。首先,抑制正向熵变。①促进主体生态融合,抑制主体间内耗引发的熵增;②促进信息共享,减少由于信息不对称引发的熵增;③提高人才素质,抑制由于人力资源因素引发的熵增。其次,引入负向熵变。①扩大市场开放;注意引入的物质、能量和信息等与区域

实际条件的适应性问题;②重视科技创新,充分发挥科学技术负熵流的作用。

(6)提高各主体的创新能力,促进创新主体间的能力匹配。一方面,高新技术主体要通过内部研发提高自身能力;另一方面,主体要不断通过外部学习提升自身能力;同时,被合作方要提高合作意愿,加强知识共享,提高合作方的创新能力。

参考文献

- [1] 董铠军, 2017. 微观视角下创新生态系统研究: 概念与界定[J]. 科技进步与对策, 34(8): 9-14.
- [2] 郭燕子, 武忠, 2012. 基于 Lotka-Volterra 模型的产业技术创新网络知识创造机理研究[J]. 情报杂志(6): 139-143.
- [3] 何向武, 周文泳, 2019. 创新生态系统序参量与演化关系——以我国医药制造业为例[J]. 科技与经济, 32(3): 31-35.
- [4] 李承宏, 李澍, 2017. 我国高新技术产业政策演进特征及问题——政策目标、政策工具和政策效力维度[J]. 科技管理研究(5): 27-32.
- [5] 刘钊, 张君宇, 邓明亮, 2019. 基于改进生态位适宜度模型的区域创新生态系统健康评价研究[J]. 科技管理研究, 39(16): 1-10.
- [6] 李万, 常静, 王敏杰, 2014. 创新 3.0 与创新生态系统[J]. 科学学研究, 32(12): 1761-1770.
- [7] 龙跃, 顾新, 张莉, 2016. 产业技术创新联盟知识交互的生态关系及演化分析[J]. 科学学研究, 34(10): 1583-1592.
- [8] 钱辉, 张大亮, 2006. 基于生态位的企业演化机理探析[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版)(2): 20-26.
- [9] 王方, 2016. 我国高新技术产业政策发展历程及趋势初探——基于 1949 年以来的高新技术产业政策研究[J]. 开发研究(1): 129-136.
- [10] 王发明, 朱美娟, 2019. 创新生态系统价值共创行为协调机制研究[J]. 科研管理, 40(5): 71-79.
- [11] 万伦来, 2004. 企业生态位及其评价方法研究[J]. 中国软科学(1): 73-78.
- [12] 仵凤清, 2012. 基于自组织理论与生态学的创新集群形成及演化研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学.
- [13] 杨剑钊, 李晓娣, 2016. 高新技术产业创新生态系统运行机制[J]. 学术交流(8): 134-139.
- [14] 郑代良, 钟书华, 2010. 中国高新技术政策 30 年: 政策文本分析的视角[J]. 科技进步与对策, 27(4): 90-93.
- [15] 赵广凤, 马志强, 朱永跃, 2017. 高校创新生态系统构建及运行机制[J]. 中国科技论坛(1): 40-46.
- [16] 张贵, 温科, 宋新平, 等, 2018. 创新生态系统: 理论与实践[M]. 北京: 经济管理出版社.
- [17] 张利飞, 2009. 高科技企业创新生态系统运行机制研究[J]. 中国科技论坛(4): 57-61.
- [18] 张巍巍, 汪长柳, 张玉斌, 2015. 创建创新生态系统培育创新型企业: 基于南京市创新型企业的调研[J]. 特区经济(11): 40-43.
- [19] 张运生, 2010. 高科技企业创新生态系统技术标准许可定价研究[J]. 中国软科学(9): 140-147.
- [20] ANDER R, KAPOOR R, 2010. Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations[J]. Strategic Management Journal, 31(3): 306-333.
- [21] DHANARAJ C, PARKHR A, 2006. Orchestrating innovation networks[J]. Academy of Management Review, 31(3): 659-669.
- [22] LEE C, MILLER W, HANCOCK M, 2000. The silicon valley edge: A habitat for innovation and entrepreneurship[M]. California: Stanford University Press.
- [23] MOORE J F, 1993. Predators and prey: A New ecology of competition[J]. Harvard Business Review, 71(3): 75-83.
- [24] MORRIS S A, PRATT D, 2003. Analysis of the Lotka-Volterra competition equations as a technological substitution model[J]. Technological Forecasting & Social Change, 70(2): 103-133.

The Co-evolution Mechanism of the Innovation Ecosystem of High-tech Industry

Liu Hedong, Liu Quan

(College of Economics and Management, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: The main body relationship and advantages in the ecosystem of high-tech industry and the evolution effect among the main body relationship in the ecosystem based on Lotka-Volterra model are analyzed, and the entropy change model to analyze the collaborative mechanism of the system and the external environment evolution is constructed. The results show as follows. When the inter-subject relationship evolves into moderate competition, mutual benefit symbiosis, and partial benefit symbiosis, the balanced output of system groups and individuals is greater. When the intersubjective relationship is parasitic symbiosis evolution, the balanced output of system groups and individuals is small. When the marginal synergy entropy is equal to the marginal synergy negative entropy, the ecosystem synergy efficiency is maximum. The conditions for the continuous and stable development of the system are the subject learns dynamically and introduces negative entropy flow from the outside to suppress the synergistic increase in entropy within the system. Ability matching between subjects is an important prerequisite for improving system performance.

Keywords: high-tech industry ecosystem; Lotka-Volterra model; entropy model; synergy mechanism