

# 复杂理论视角下技术创新集群的蜕变机制探析

赖迪辉

(天津大学 管理学院, 天津 300072)

摘 要: 技术创新集群在自身进化过程中存在着蜕变机制。从技术创新集群蜕变机制的技术范式模型和系统动力学两个层面, 对技术创新集群的蜕变机制进行了分析。

关键词: 技术创新; 技术创新集群; 蜕变机制

中图分类号: F062.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2008)03-0076-04

## 1 技术创新集群的概念与特征

### 1.1 技术创新集群的概念

最先提出“集群”概念的是迈克尔·波特<sup>[1]</sup>, 他认为集群是指在特定的领域里相互联系的公司和机构在地理上的集中, 包含一系列相互关联的产业和其它实体。波特极力强调地理群聚现象对生产力和创新能力的意义, 但该定义对企业间的必要分工协作以及技术创新的作用关注不够。OECD<sup>[2]</sup>进一步发展了“集群”的概念, 认为“集群”是指: 为了获得新的和互补的技术, 从互补资产和经济利用的结合获得收益, 加快学习过程, 降低交易成本, 克服(或创造)市场中的进入壁垒, 取得协同经济效果, 分散创新所带来的风险, 关联性很强的企业(包括专业供应商)、知识生产机构(大学、研究机构等)、中介机构和顾客通过附加值生产链相互联系形成的网络。

技术创新是一个复杂的系统工程, 它源于新思想的产生, 经过研究开发、制造、营销, 直到产品为消费者接受, 这一过程的成败又与企业外部环境(更复杂系统, 如国家创新系统等)及企业内部因素有关, 牵涉到众多的方面和关系。熊彼特<sup>[3]</sup>在创新理论的研究中首先发现, 技术创新具有一定的时间和空间成群出现的特性, 即创新集群, 并指出“技术创新不是孤立事件, 或者均匀地分布在时间轴上, 而是趋于结成集群, 鱼贯而出。”大量的研究表明, 技术创新集群是由参与技术开发和扩散的企业、大学和科研机构组成的, 并形成有一个有市场中介服务组织广泛介入和政府适当参与的, 为创造、储备和转让知识、技能及新产品而相互作用的创新网络系统, 它是国家创新系统的子系统, 属于社会经济系统的范畴。

### 1.2 技术创新集群的主要特征

技术创新集群是技术创新的一种存在方式, 是由诸多

技术创新组成的技术创新系统, 它的发生和发展及对整体的影响依赖于集群中其它技术创新, 技术创新集群是不可分割的有机整体, 它具备了复杂系统的行为特性。

(1) 多样性。技术创新集群的多样性主要表现在集群的多结构多层次性, 可以根据不同层次、不同角度、不同目的对技术创新集群进行划分, 这种多结构多层次性正是技术创新集群产生复杂性的根本原因之一。

(2) 自组织特征。自组织现象是指自然界中自发形成的宏观有序现象, 是低级系统自发走向高级的复杂系统的方式、路径。开放性是自组织系统的最主要特征, 技术创新集群不断地从市场获得生产要素、服务要素, 从政府宏观调控环境获得政策、金融信息, 与外界进行物质流、信息流、能量流的交换, 这些负熵抑制集群自身的熵的增加, 从而使集群总熵减少, 形成自组织系统, 体现了开放系统的特点<sup>[4]</sup>。技术创新集群与外部交流越广越快, 就越能在市场竞争中取得有利位置。

(3) 动态性。作为开放系统的技术创新集群, 在其内部运行期间, 涉及一系列协调阶段, 各个阶段在时间上存在部分程度的重叠并相互依存。在竞争环境中, 以创新为导向, 研发机构、大学、企业、政府、科技中介等方面相互反馈, 形成一个不可逆的、路径依赖的进化过程, 技术创新越复杂, 这种过程就越长, 集群内的前向、后向和水平产业联系也越强, 集群整体呈现从低级到高级、从简单到复杂的动态演化特征<sup>[5]</sup>。

(4) 非线性。技术创新过程是非线性的, 需要将不同领域相关的多项技术创新联合在一起, 在官、产、学、研、金等要素之间进行大量的相互作用, 以及在科学研究、工程建设、社会文化、产品开发和市场营销之间进行反馈, 才能通过各子系统之间的非线性作用而产生的整体性去实现进化目标。

## 2 蜕变理论回顾

蜕变理论首先由日本学者藤芳诚一教授提出,他将企业和生物联系在一起,认为企业若不进行蜕变,就无法生存。但藤芳诚一的理论割裂了蜕变期与企业生命周期的联系,关注企业经济形态和产出的变化,而忽视了企业技术改造方面的变化。我国学者陈佳贵<sup>[6]</sup>则从企业寿命周期的角度,论述了各个时期企业成长的特点,从企业的经济实体、实物实体和产品3个方面来分析企业的蜕变。美国的弗朗西斯·高哈特(Francis J. Guillard)和凯利(James N. Kelly)将企业看成是一个活的生物法人,为企业蜕变规划了4个架构:重新规划、重建组织架构、重振活力和重获新生<sup>[7]</sup>。我国学者陈剑峰等<sup>[8]</sup>采用专利数量作为创新产出划分产业集群中技术创新集群的生命周期。

目前蜕变研究多从产业组织的角度出发,按照“机构—行为—绩效”分析范式(SCP范式),采用均衡分析的方法,同时吸收博弈论、信息论的最新研究成果,侧重研究企业进入、退出壁垒及其对行业绩效的影响,目的是为制定产业组织政策服务。技术创新集群在自身演化过程中,存在着蜕变趋势。从技术创新集群为蜕变积累能量并获得条件,到现实的蜕变过程,其中存在深层的运作机制,在蜕变机制的作用下,即会展现为一个蜕变过程。机制问题是集群蜕变的核心问题。技术创新集群蜕变是集群基本要素和结构发生部分或全部根本性转变的过程,这种转变基于集群自身及其与环境的相互作用的改变,并在所有层次上展现,是难以逆转的过程。技术创新集群始终处于发展变化的动态运动中,它的变化大多以渐进蜕变模式为主体,其变化又必然引起许多新的变化。对技术创新集群不同层次蜕变所处不同阶段特征及规律进行研究,对各层次的蜕变方向加以深化理解,寻找出创新集群的基本蜕变规律,将能为作出正确决策提供依据,保证创新集群适应发展蜕变需要。

## 3 技术创新集群的蜕变机制

### 3.1 蜕变机制的技术范式模型构建

经济学家多西<sup>[9]</sup>(G.Dosi)提出了“技术范式”的概念,技术范式是以自然科学和实用技术为基础,就一定技术问题进行解决方案探索的“模式”。技术范式规定技术发展的总体方向,而技术轨道则在这个总体方向内,决定技术发展的具体方向。技术创新集群本身具有复杂系统特性,它在技术范式的约束下,沿技术轨道进行有选择的蜕变,这种蜕变是同时具备连续性与非连续性两种变化模式的自适应动态过程。

在未生成新的技术范式之前,技术创新集群的微涨落低于临界状态:科研院所、高等院校的科技进步产出是渐进的、积累的,企业的技术需求能得到基本满足,技术中介机构较为有效地运行,各种物质流、信息流、能量流在集群

内部有序流动,创新活动目标明确,降低了创新过程的风险与不确定性,集群处于一种基于现有稳定界面的预设变化即稳定态,涨落方向的起始点均为原有技术范式<sup>[10]</sup>。一旦涨落加剧,幅度高于失稳临界点时,集群处于失稳态,新的技术、工具、专利大量出现,但由于市场、企业的反应滞后(出于消费偏好、市场决策等方面的考虑),直至出现分岔时,新的技术范式就可能取代旧的技术范式,集群的技术创新过程由渐进蜕变变成跃迁,发生质的变化。当技术创新集群与环境进行物质、能量和信息的交换时,内部某个参量在与环境交互过程中,达到一定临界时,系统某一点的微小涨落就会通过系统放大机制而成为巨涨落,从而为集群的自组织进化提供可能。例如市场需求、科学技术的发展、国家政策的调整等,都会引发涨落的出现,技术创新行为是诱发技术创新集群自组织进化的动力。该过程可用图1的“火山模型”表示。

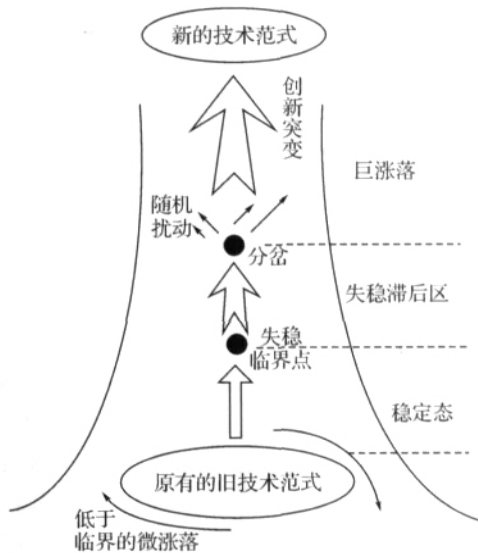


图1 技术创新集群蜕变的火山模型

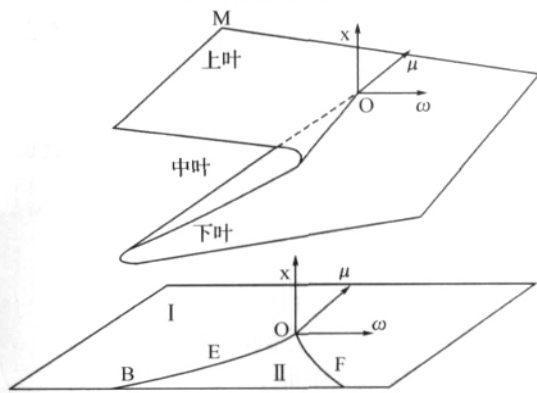


图2 技术创新集群突变曲面示意

发生分岔后,需要环境因素向集群输入负熵流,对技术创新集群诸组成要素产生的随机扰动,施加有选择的非线性放大,以保证新技术范式的生成。集群蜕变的方向要在一个多可能性的空间中选择,该可能性空间不是外界强加给集群的,而是集群的内在性质决定的。但集群蜕变究竟选择哪种可能性,则取决于集群所处的环境因素以及环境因素与集群之间的相互作用。环境因素有经济性和非经

济性两个方面,经济性环境因素包括市场需求、产品价格、研发成本等,非经济性环境因素包括政府调控、科技发展、社会效益、文化差异、价值取向等,在环境因素的作用下,先进的、有效的技术创新过程发生突变,进而出现创新突变<sup>[1]</sup>。

技术创新集群从稳定态向巨涨落的状态迁移,表明它是一个势能系统,其发生分岔的状态可通过其相应的平衡曲面来描述,平衡曲面为满足势能函数的一阶导数(或两个一阶偏导数)为零的所有点的集合。设尖点突变的势函数为:

$$v(x)=x^4+\mu x^2+x \quad (1)$$

(1)式对应的是两个控制参数的一维连续动力系统。相空间是三维的,技术创新集群的功能 $x$ 为状态变量,集群环境因素的变化水平、环境因素与集群之间相互作用的水平为控制变量。它的平衡曲面 $M$ 由

$$4x^3+2\mu x+1=0 \quad (2)$$

给出,奇点集是满足方程

$$6x^2+\mu=0 \quad (3)$$

的 $M$ 的子集,由(1)、(2)两式联立得分支点集 $B$ 为:

$$8\mu+27=0 \quad (4)$$

平衡曲面 $M$ 与分支点集 $B$ 如图2所示,从图2中看出,尖点之中有两个小点,它们被一个极大点分隔,而尖点之外则只有一个极小点。

分支点集 $B$ 是平衡曲面 $M$ 的皱折在下方控制平面上的投影(在图2中表现为 $E$ 和 $F$ 两条曲线),它把控制平面分割成两个区域:Ⅰ与Ⅱ。当技术创新集群的组成要素所形成的控制轨迹从不同路径,由控制区域Ⅰ进入区域Ⅱ时,在对应的平衡曲面上可以发现技术创新集群的蜕变过程:

(1) 当控制平面内一条控制轨迹由区域Ⅰ穿越区域Ⅱ时,集群发生巨涨落,并在环境因素作用下发生突变。

(2) 区域Ⅱ内的任一点所对应的势函数 $v(x)$ 有两个极小点,此时集群处于稳定态。

(3) 同一条控制轨迹,从区域Ⅰ的左侧穿越区域Ⅱ和从区域Ⅰ的右侧穿越区域Ⅱ,发生突变的位置不同,这说明集群的蜕变是有方向的。

(4) 同一个技术创新集群,在不同的环境因素作用下,蜕变的目标会产生差别。即同一条控制轨迹,从区域Ⅱ外一点到区域Ⅱ内一点的两条相邻的控制轨迹,可以产生不相同的形态,分别位于平衡曲面的上叶或下叶上。轨迹不可达到中叶折皱部分,因为平衡曲面的中叶对应着不稳定的平衡态。

(5) 当控制轨迹不穿越区域Ⅱ时,技术创新集群存在微涨落,但达不到临界点,旧的技术范式不会被打破。

技术创新集群的这些特征完全符合尖点突变模式,符合尖点突变的多路径、发散性、滞后性、双模态和不可达性的特征,所以用突变理论

描述、分析集群的蜕变是合适的。

技术创新过程充满不确定性,在集群蜕变的分岔点上,非线性作用机制起了主导作用,它促使突变产生,集群从无序走向有序,新的技术范式取代旧的技术范式。同时,技术创新集群的蜕变过程中也包含渐变,创新活动对旧的技术范式进行补充、改进。熊彼特把创新视为不断从内部革新经济结构,即不断破坏旧的、不断创造新的结构,技术创新集群的蜕变模型无疑印证了这一点。集群的蜕变是多种状态综合实现和突变选择的结果,而蜕变机制发生作用,在逻辑上是以分岔产生出的多种不同性质的稳定系统为前提的。首先有了分岔,才可能实现技术创新内容与信息量的综合。从这个意义上说,分岔是蜕变的重要前提和基本机制。

### 3.2 技术创新集群蜕变机制的系统动力学分析

技术创新集群是具有动态行为的高阶次非线性复杂系统,其边界模糊,发生蜕变时,具有多重反馈环,系统的各个子系统以及各子系统的各元素之间,具有难以揣度的相互依赖关系。由于时滞作用,使得原因和结果、原因和现象在时空上往往是分离的。鉴于上述特征,为了能对蜕变机制进行深层剖析和一定程度的定量把握,本文引入系统动力学(System Dynamics,简称SD)来进一步分析技术创新集群的蜕变机制。

技术创新集群包含政府、企业、高校及科研院所、技术中介机构和环境子系统等主要组成要素,这些要素间相互联系,形成多个主导反馈环和非主导反馈环(见图3),主导反馈环的存在决定了集群蜕变的行为和趋势,反馈的多结构、多层次性引发了技术创新集群组成要素的多样性。技术创新的主体是企业,但不唯一。伴随技术创新过程中知识的产生、扩散和利用,技术主体也会出现多极化,金融机构、中介组织等也会在一定时间内扮演创新主体的角色。通过技术中介、技术创新客体与技术创新主体相互作用、共生融合,为技术创新集群的持续发展提供有力支撑。

由于技术创新集群是多变量复杂系统,因此需要用状态变量的方法来描述它的动力学性质,这样才能进一步揭示技术创新集群的内在规律和蜕变机制。使用企业、政府、

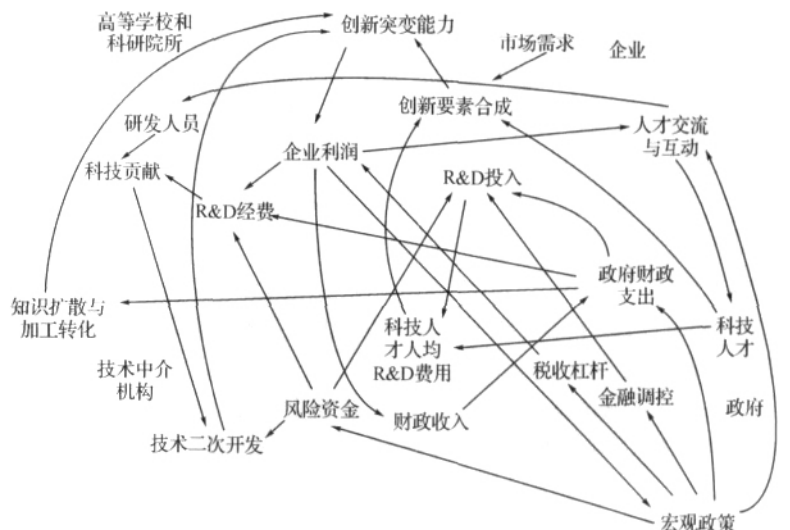


图3 技术创新集群SD模型反馈回路关系

大学及科研院所、技术中介机构等参量来表征,据此来建立技术创新集群的状态空间数学模型<sup>[12]</sup>。设  $x_1(x), x_2(x), \dots, x_m(x)$  是技术创新集群的一组状态变量,相应的状态向量为:  $(x)=[x_1(x), x_2(x), \dots, x_m(x)]^x$ , 一般来说,技术创新集群含有状态变量  $x_1, x_2, \dots, x_m$  扰动变量  $x_1, x_2, \dots, x_n$  及输出变量  $x_1, x_2, \dots, x_j$ 。

技术创新集群的动力学特征可用  $m$  个一阶微分方程组成的方程组来描述:

$$\dot{x}_i = F_i(x_1, x_2, \dots, x_m; x_1, x_2, \dots, x_n; x) \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

而其输出特性表达式为:

$$x_j = G_j(x_1, x_2, \dots, x_m; x_1, x_2, \dots, x_n; x) \quad (k=1, 2, \dots, j) \quad (6)$$

引入状态向量  $x=[x_1, x_2, \dots, x_m]^x$ 、扰动向量  $x=[x_1, x_2, \dots, x_n]^x$ 、输出向量  $x=[x_1, x_2, \dots, x_j]^x$ 。于是(5)、(6)式可转化为

$$\begin{cases} \dot{x} = F(x, x) \\ x = G(x, x) \end{cases} \quad (7)$$

在(7)式中,  $R$ 表示欧氏空间,可以看出技术创新集群的蜕变依赖于扰动变量,因此,技术创新集群是一个非线性特征较强的复杂系统。集群内的非线性作用集中表现为各组成要素的交叉耦合作用,非线性耦合作用体现为竞争与协同,协同是竞争的基础,竞争又促进了协同。技术创新集群内的高校与科研院所协同促进科技成果的创新,在不同层次上存在合作关系。但在市场需求和经济利益的影响下,它们之间也存在竞争,共同构成庞大的科技研发系统,为企业腾飞提供技术支撑。可以说,技术创新集群内部的非线性作用是集群蜕变的动力,导致集群产生从无序向有序演化的自组织蜕变进程。

## 4 结语

技术创新集群具备复杂系统的本质特征,在开放的远离平衡态的集群内部,其组成要素之间的相互作用体现为较强的非线性作用,非线性作用在外部参量的影响下,会使集群蜕变过程进入临界状态并发生分岔,直至出现新的技术范式。从系统动力学的角度来看,自适应与反馈构成了技术创新集群蜕变的一种内在机制,集群运动从分岔到

自稳定,其间存在一个创新突变过程,协同、竞争与选择机制参与评价了系统蜕变的多种可能结果,约束和规范了集群现实的蜕变路径与方向。较好地理解和掌握技术创新集群的蜕变机制,将使技术创新集群研究的科学性和实践性都进一步得到加强。

参考文献:

- [1] Michael E.Porter. The Competitive Advantage of Nations[M]. New York: The Free Press, 1990.
- [2] J. A. Theo Roelandt & Pimden Hertog. Cluster Analysis & Cluster- Based Policy in OECD- Countries[A]. OECD Report, 1998.
- [3] J.A.Schumpeter. Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process [M]. New York: Mc Grew- Hill, 1939: 100~101.
- [4] 彭纳揆, 邹素文. 论系统的复杂性和复杂系统[J]. 系统科学学报, 2006, 14(1): 10~13.
- [5] 秦书生. 复杂性技术观 [M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2004: 161~192.
- [6] 陈佳贵. 关于企业生命周期与企业蜕变的探讨 [J]. 中国工业经济, 1995(11): 5~13.
- [7] 高哈特, 凯利. 企业蜕变[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2006.
- [8] 陈剑峰, 万君康. 产业集群中技术创新集群的生命周期研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2002, 24(5): 60~63.
- [9] G. Dosi. Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change[J]. Research Policy, 1983, 11(3): 147~164.
- [10] 欧庭高. 技术创新复杂性初探 [J]. 系统辩证学学报, 2003, 11(4): 45~53.
- [11] 李宏伟. 技术进化的社会选择 [J]. 自然辩证法研究, 2002, 18(8): 47~49, 73.
- [12] 谢应齐, 曹杰. 非线性动力学数学方法[M]. 北京: 气象出版社, 2001.

(责任编辑: 赵贤瑶)

# Research on Transformation Mechanism of Technological Innovation Clusters

Abstract: On the basement of research on conceptions and characters of clusters of technological innovation and transformation theory, the model of technological paradigm for transformation mechanism are designed, transformation process of technological innovation clusters and Ingredients is analyzed, and transformation mechanism of technological innovation clusters is discussed more scientifically from the theory of catastrophe theory and system dynamics,

Key Words: Technological Innovation; Cluster; Transformation