

基于混沌动力学的知识创新演化规律分析

韩蓉¹, 林润辉¹

(1. 南开大学 商学院, 天津 300071)

摘要：知识创新是一个复杂的、隐含规律与秩序的演化过程，文中运用混沌理论进行了知识创新的演化趋势和规律探讨。将知识创新系统看作复杂系统，分析知识创新的混沌特性，建立基于创新能力的知识创新的混沌动力学模型。在模型建立的基础上，进行知识创新的模拟和动态演变规律的分析，以创新的状态和系统的演化为依据，将知识创新分为非时间连续的四类阶段：创新匮乏阶段、初步创新阶段、规律创新阶段和混沌创新阶段，与渐进性创新和突破性创新进行了对应分析，并基于本文的模型从知识创新角度分析了知识创新系统中渐进性创新与突破性创新的统一。

关键词：知识创新；混沌理论；动力学模型；创新演化

中图分类号：G302

文献标识码：A

知识经济时代，知识是重要的生产要素^[1]，知识是企业的创新之源^[2]。企业趋向知识密集型组织发展，组织越来越依靠创新知识来创造价值^[3]，如何组织以产生和开发新知识是当下企业面临的重要问题^[4]。自从 Polanyi (1966) 将知识分为显性知识 (Articulated Knowledge) 和隐性知识 (Tacit Knowledge) ^[5]，学者研究知识创新大都关注知识转移的过程、活动或环境等，但已有的研究还没有关于创新的清晰的原型过程^[6]。从复杂性科学视角出发，一个系统的知识创新行为具有非线性特征，遵循自组织理论、混沌理论等机制，呈现出正反馈、分岔等现象。在技术创新领域，陶海青等 (2002) 据自组织理论分析了技术创新的成长演变趋势^[7]，李梅芳 (2010) 等对企业技术创新行为的动力学机制进行了探讨^[8]。而国内运用复杂性理论进行知识创新定量分析的研究还太少，知识创新系统非线性机制作用下演化的原理、模式等规律性问题还没有得到相应的研究。本文认为，在系统内部各要素作用及外部环境影响下，一个系统知识创新行为所呈现的是复杂的、貌似无规则的状态，而复杂中存在规律、无序中隐含秩序，可运用混沌理论分析复杂创新现象背后的规律所在，进行知识创新的

演化趋势探索。本文将知识创新系统看作复杂系统，分析知识创新的混沌特性，建立知识创新的混沌动力学模型，进行知识创新的模拟和动态演变规律的研究，并基于本文的模型分析从知识创新角度探讨系统渐进性创新与突破性创新。

1. 相关研究评述

1.1 知识创新的已有研究

在知识创新的研究中，知识创新活动、知识转化过程和知识创新环境是主要研究问题，多以实证方法研究。Leonard-Barton（1992）构建了知识创新核心能力框架，解释知识创新如何经由具体活动提升企业竞争优势、获得企业核心能力^[9]。Wiig（1993）提出个体知识演化周期模型，认为知识创新是经过隐性知识、范式知识、方法论知识到程式化知识的不断演化过程^[10]。Nonaka（1994）在隐性知识和显性知识划分基础上，提出知识创新的转化与螺旋运动 SECI 模型^[11]。Szulanski（1996）认为企业内部稀缺知识的转移是构建企业竞争优势的关键，通过分析知识转移的内部粘滞性，建立知识创新过程转移模型^[12]。Nonaka（1998; 2000）继续关注知识创造的条件与环境，提出知识创新的场（ba）的概念，研究知识创造与转移的场所^{[13][14]}。Georg Von Krogh & Nonaka（2001）提出动态的 4 类知识战略，通过知识创新过程的管理来达到企业战略目标^[15]。Argote（2011）从组织学习视角分析，建立了一个组织经验与知识创新关系的理论研究框架^[16]。Ragiv Nag（2012）通过建立一般知识到特殊知识的转化过程模型，研究知识如何成为企业战略资源^[17]。然而在已有实证研究中存在一些问题，由于隐性知识与显性知识的区分存在分歧^[18]，难以测度，知识创造的实证研究中一直存在争论^[18]，已有研究以定性研究居多；知识创新的演化是自组织、自学习的过程，其内在机制与演化规律难以用实证方法有效描述，而混沌理论正是研究复杂现象规律的学说。

1.2 混沌理论的应用

混沌理论所指混沌不等同于无序和混乱，而是由于内随机性，确定的系统中产生的一种外在的、复杂的、貌似无规则却又有一定规律性的运动，呈现的是一种没有周期性的秩序。李天岩和 Yorke 在 1975 年首次在数学文献中使用“混沌”^[19]。Edward N. Lorenz 认为“混沌这一术语泛指这样的过程——它看起来是随机发生的而实际上其行为却是由精确的法则

决定”^[20]。《易乾凿度》中有“气似质具而未相离，谓之混沌”的说法，暗示着混沌中的规律。混沌运动是确定性非线性动力系统所呈现的复杂运动状态，具有蝴蝶效应^[21]，但是只有当确定性的非线性系统参数处于某一范围时才表现出混沌运动，其他情况下仍然表现为通常的确定性运动，即，系统存在一个从确定性运动到混沌运动的过程^[22]。

通过混沌理论的经典文献，梳理主要的混沌特性：1) 系统的非线性导致动力学的复杂性。非线性反馈，是产生混沌的基本前提。由于非线性，动力系统失稳后将会产生分岔，产生新的平衡态，经过突变和不断分岔后，系统最后进入混沌。2) 是由确定性的系统（机制）产生非线性混沌，若可用方程描述则为确定性动力学方程。3) 系统的不确定性表现为混沌系统的内在随机性，是指确定系统在确定性输入条件下产生类似随机的运动状态。为混沌动力系统本身所固有的，并不是由于外界的干扰。4) 复杂现象形成的过程是不可逆的，混沌运动所在的系统即呈现复杂现象，则混沌具有不可逆性。5) 混沌运动在无限层次上具自相似的结构，这种规律性是混沌运动与随机运动的重要区别之一。

混沌理论在生物学、控制理论等学科领域都有相应理论结合与应用研究。1980年 Michael J. Stutze 作为先驱在 Haavelmo 经济增长方程中解释了混沌现象^[23]，之后混沌理论在经济、管理学研究领域开始应用。Anna Agliari 等（2006）给不完美资本市场中财政受限的企业建模，研究模型不同演化情况下的企业行为，并分析控制混沌的方法的有效性^[24]。Jordi Caballe 等（2006）研究了一类新兴经济体中信贷约束下企业的复杂动态特征，并根据经济体的金融发展水平分析不同参数时系统的稳定性与可预测性^[25]。Hung-Ju Chen 等（2008）突破传统的完全预见性假设的经济转型分析，增加了短视预见和适应性预见，并分析其混沌动态行为^[26]。学者们在经济系统的演化及现象、企业战略管理等方面都有混沌理论的应用，但目前运用混沌理论探讨知识创新的还只有定性研究。

2. 知识创新的混沌动力学模型

创新不是突然间从无到有，更多情况下是站在巨人肩膀上。溯源，创新始自钻木取火、结绳记事等简单的知识，然而正是这些简单的知识，成为下一代创新产生的基础，知识不断迭代，构成现今的计算机和基因工程之类的创新，所以知识创新遵循循环因果，是建立在知识自我迭代基础上的动态演化非线性系统。知识创新系统无法脱离知识的载体而独立存在，知识的载体即进行知识创新的主体，可以是个人或组织，但是不同主体上的知识创新系统都是复杂系统并具有基本共性机理。所以本文借鉴生物学进化机理和迭代方程思想，建立知识

创新的混沌动力学模型，模拟构建创新演化的方向和趋势，分析其动力机制与演化规律。

2.1 模型描述

通过类比生物学中物种增长的动力方程，本文建立知识创新的混沌动力学模型：

$$N(t+1) = N(t)[1 + r(1 - \frac{N(t)}{S})] \quad (1)$$

其中， r 为系统的知识增长率，表征系统自身增长能力。 $N(t)$ 为 t 时刻的多样性的知识创新总量， $N(0)$ 是初始值。 $N(t+1) - N(t)$ 为系统经过一次迭代增加的知识创新数量。 S 为系统的最大容量，是系统的创新规模限制，即 $N(t)$ 的上限取值。

令 $\lambda = r+1$ ， $x(t) = \frac{N(t)}{S} \frac{r}{1+r}$ 对(1)式进行线性变换，可得到一维映射系统：

$$x(t+1) = \lambda x(t)[1 - x(t)] \quad (2)$$

方程(2)的形式为logistic方程。logistic方程是一个迭代方程式，或映射方程式，为离散动力系统，体现了不同于随机过程的复杂动力学特征和丰富动力学行为，其迭代可导致混沌^[27]。其主要性质： $F(0) = 0$ ； F 为单峰函数；在 $x=1/2$ 时，方程取得最大值。其中， $x(t) \in [0,1]$ ， $l \in [0,4]$ 。

x 表示系统的多样性程度（异质化程度），与系统的创新规模限制、知识创新总量以及系统的创新能力有关。 $x(0)$ 为系统的初始多样性程度。根据 $\lambda = r+1$ ， $x(t) = \frac{N(t)}{S} \frac{r}{1+r}$ ， x 与 N 的转换关系如(3)式：

$$x(t) = \frac{N(t)}{S} (1 - \frac{1}{\lambda}) \quad (3)$$

l 是 x 的控制参数，决定系统迭代过程性质，定义为系统的创新能力参数。 l 由系统结构与创新机制决定。 l 取不同数值时，系统迭代过程有不同的动态行为，得到不同的稳定解状态。系统的创新空间为确定的 l 下 x 对应的 N 的集合。创新空间中，系统最大 $x(t)$ 对应的 $N(t)$ 表示系统的最大创新潜能 N^* ，由 $\lambda = r+1$ ， $x(t) = \frac{N(t)}{S} \frac{r}{1+r}$ ，可知：

$$N^* = \frac{S(\lambda - 2)}{\lambda - 1} * \max\{x(t)\} \quad (4)$$

为清晰的表现系统创新空间中创新的个数和取值随参数 l 的变化情况，取 $l \in [1, 4]$ 段，在初始值 $x_0 = 0.2$ ，步长取 0.0001 的设置下，用 Matlab8.0 绘制模型的 logistic 迭代图(图 1)，横坐标为 l ，纵坐标为系统周期点 x 。通过图 1 中 logistic 迭代的极限形态可看到模型的分岔特性。

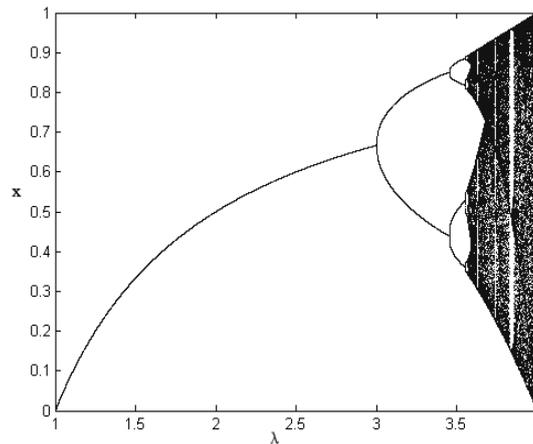


图 1 logistic 迭代分岔图

根据 Logistic 方程的平衡解（或定点/不动点）情况，可分析知识创新系统的稳定性问题。Logistic 方程中平衡解表示系统的一个不随时间变化的平衡状态，对应于知识创新系统中知识多样性程度的稳定状态，即系统零增长状态。公式表达为，在 $x_{t+1} = x_t = x^*$ 时， $x^* = f(x^*)$ 。 x^* 代表定点，表示 x_t 不会再变化了。以知识创新系统的一次迭代为例，如果系统经过一次迭代后得到平衡解，即 $x(t) = \lambda x(t)[1 - x(t)]$ ，解得 $x_1^* = 0$ ， $x_2^* = 1 - \frac{1}{l}$ 。但是存在不动点 x^* 的稳定性问题： x 偏离 x^* 一点，经映射后离开 x^* 更远，则 x^* 是不稳定的； x 偏离 x^* 一点，经映射后离开 x^* 更近，则 x^* 是稳定的。用 $F(x)$ 曲线在 x^* 的斜率 $\frac{dF(x)}{dx}$ 来表示 x^* 的稳定性^[28]，令 $\frac{dF(x)}{dx} = A$ ，则：当 $|A| < 1$ 时，系统的平衡解是稳定的；当 $|A| = 1$ 时，系统处于临界状态，不稳定；当 $|A| > 1$ 时，系统的平衡解是不稳定的。

用 Matlab8.0 对本文的动力系统模型进行模拟，分析 $l \in [0, 4]$ 下模型的演化，绘制系统输出状态图，横轴为迭代次数 t ，纵轴为 x 值，并结合系统状态的稳定性分析，进行知识创新系统的系统演化和创新状态的分析。总体来说，不同的系统创新能力参数下，系统的知识

创新有不同的演化轨迹，系统走向死亡、稳定或者混沌。本文根据系统多样性程度的状态和演化，将系统的知识创新分为四类阶段：创新匮乏阶段、初步创新阶段、规律创新阶段和混沌创新阶段。

2.2 模型分析

2.2.1 创新匮乏阶段

$l \in [0,1]$ ，系统处于创新匮乏阶段，系统不具备促进知识创新的结构与机制，并可能会对初始的多样性程度起遏制作用，造成系统内同质化。此阶段具体的模型分析：

$l = 0$ 时，不论初始值如何，公式 (2) 中 x 的取值总为 0，即系统的多样性程度为零。根据公式 (4)，系统的创新空间为零。系统无创新产生，并走向同质化。

$0 < l < 1$ 时，任意 $x_0 \in [0,1]$ ，方程迭代的结果是 $x \rightarrow 0$ ，系统趋向稳定的不动点 0 (图 2 左图)。意味着，当系统的创新能力参数在 (0,1) 范围内时，随着时间推移，不论系统的初始知识多样性如何，系统的多样性都会逐渐消失，系统创新空间为零，系统同质化走向死亡。从系统内、外因来看，主体内的知识流通存在问题，知识间缺少互动，主体对于知识的判断单一，主体处于无法包容创新行为的环境，并且主体相对封闭。这样的系统结构、机制，是对知识多样性的扼杀，系统演化与初始值无关，系统内部终将严重同质化。而不从创新视角来看，这类系统的目的或许就是追求同质化，不期待多样化出现。

$l = 1$ ，方程迭代的结果是 $x \rightarrow 0$ ，系统的多样性依然趋向为零 (图 2 右图)。但是 $l = 1$ 为系统的临界点，此时系统结构不稳定，系统处于变革敏感期，意指，微小的能力提升就能使系统摆脱创新匮乏阶段。

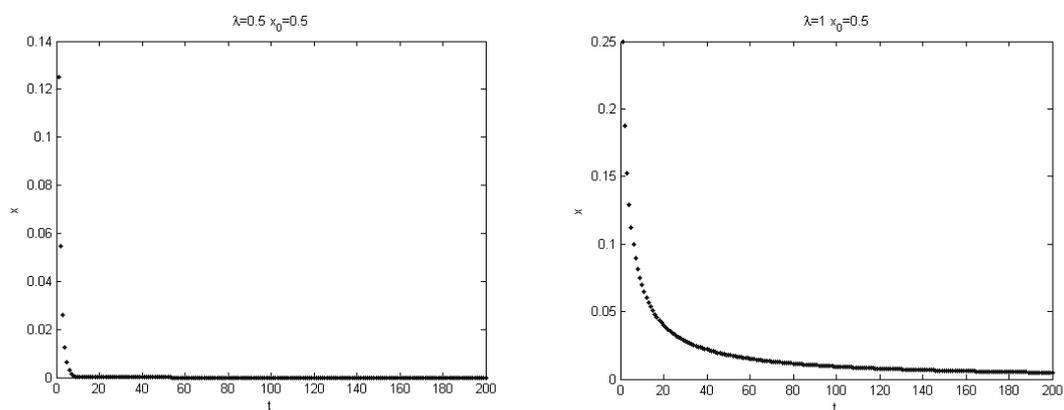


图 2 系统输出状态图

2.2.2 初步创新阶段

$l \in (1,3]$ ，系统处于初步创新阶段（图 1），系统的创新空间等同于系统的最大创新潜能，此阶段创新潜能不高，但是在保持 l 不断增长的条件下，知识创新数量会保持增长。此阶段的模型分析：

$1 < l < l_0$ ， $l_0 = 3$ 时，Logistic 方程的 2^0 周期轨道稳定，方程迭代结果有唯一的终态，系统的多样性程度为一个确定的值（图 3）。依据方程的稳定性分析，对任意 $x_0 \in [0,1]$ ， x

收敛于 $x^* = 1 - \frac{1}{l}$ ，根据公式 (4)，系统最大创新潜能为 $N^* = \frac{S(\lambda - 2)x^*}{\lambda - 1}$ 。结合模拟结果

进行分析（图 3）， $l \in (1,3)$ 时，一个 l 值对应一个稳定的系统多样性程度，且与系统初始输入无关，系统经过演化，知识创新的数目保持不变，多样性程度稳定到一个固定值。系统初步创新阶段有两个重要的特征：系统要持续创新，必须保持 l 的持续增长； l 的增长，能带来显著的创新成效，由图 1 可知系统的多样性程度为 l 的单调递增函数。本阶段的系统结构与创新机制具有很大的提升空间，决定了系统演化过程与结果。

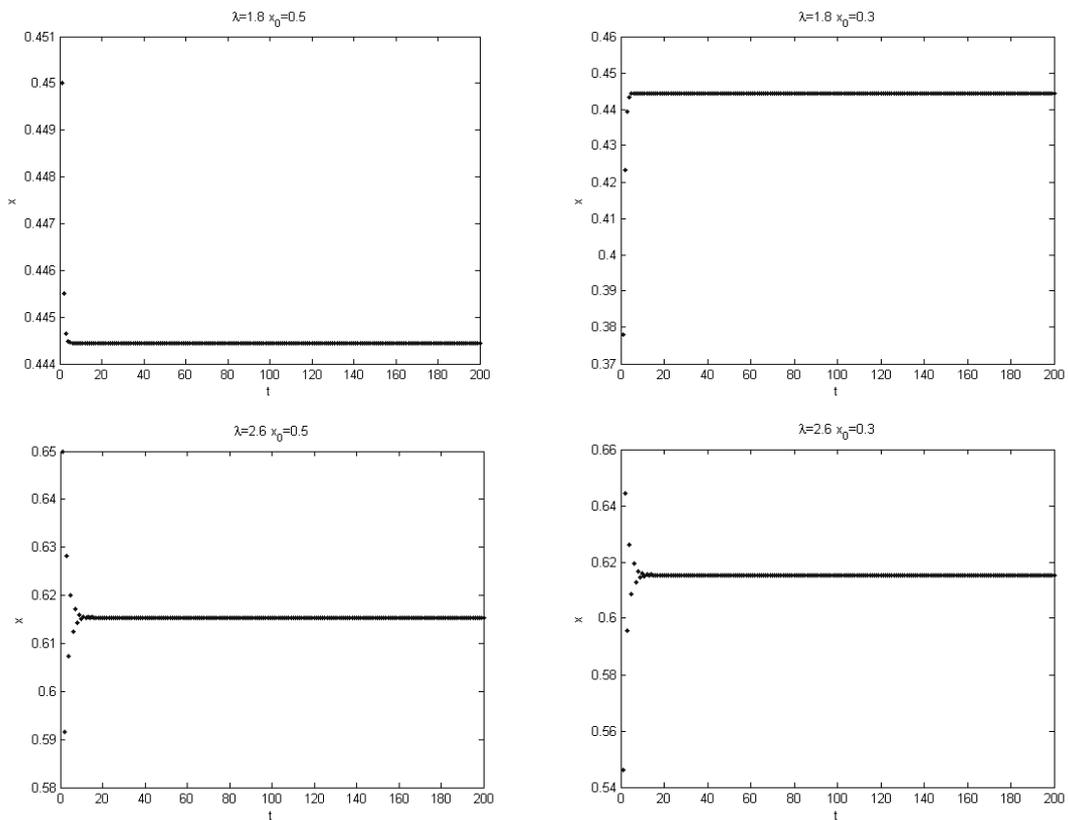


图 3 系统输出状态图

$l = l_0 = 3$, 是系统的一个临界点, 为二分岔点, 系统周期加倍, 方程有了 2 周期解 (图 4)。临界处的系统多样性程度失稳, 知识创新数目不稳定。创新能力参数取临界值的系统处于变革敏感期, 微小的创新能力提升或降低会带来系统创新状态的变化。

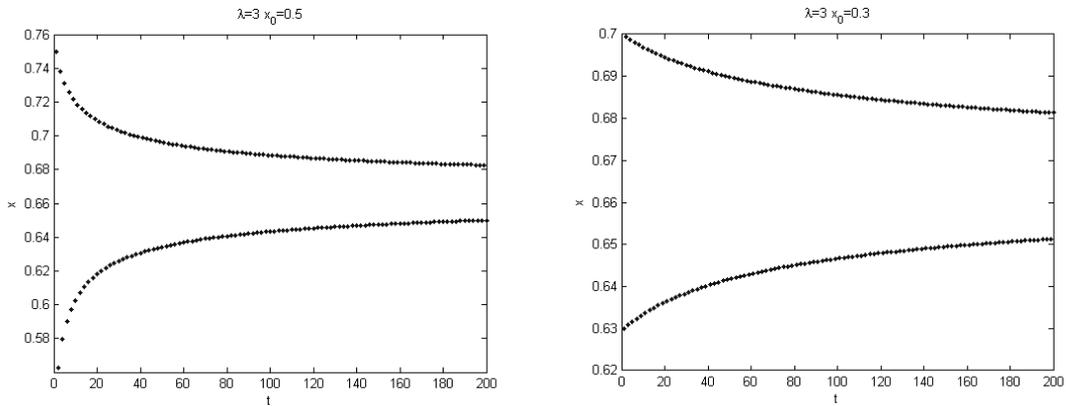


图 4 系统输出状态图

2.2.3 规律创新阶段

$\lambda \in (3, \lambda_\infty)$, 知识创新系统处于规律创新阶段 (图 1), 此阶段初始状态对系统的演化无影响, 系统稳定的结构与创新机制决定了知识创新演化。 l 越大, 系统创新程度越大, 系统的不可控程度也越大, 且 l 值的增长与系统的知识创新增长之间存在规律。此阶段具体的模型分析:

$l > l_0$, $l_0 = 3$, 系统进入倍周期分岔 (bifurcation) 周期区, 当参数变动经过某些临界值时, 系统发生分岔, 其平衡状态或者周期运动等性态突然变化。倍周期分岔过程中, 系统的周期不断加倍, 相继出现 2、4、8、……倍周期。

$l_0 < l < l_1$, $l_1 = 3.449$ 时, 系统的 2^1 周期轨道稳定, 系统将演化至稳定的两个周期解。

给定一个 $l \hat{=} (l_0, l_1)$ 值, 系统二次迭代可表示为:

$$x_{t+2} = F[F(x_t)] \quad (5)$$

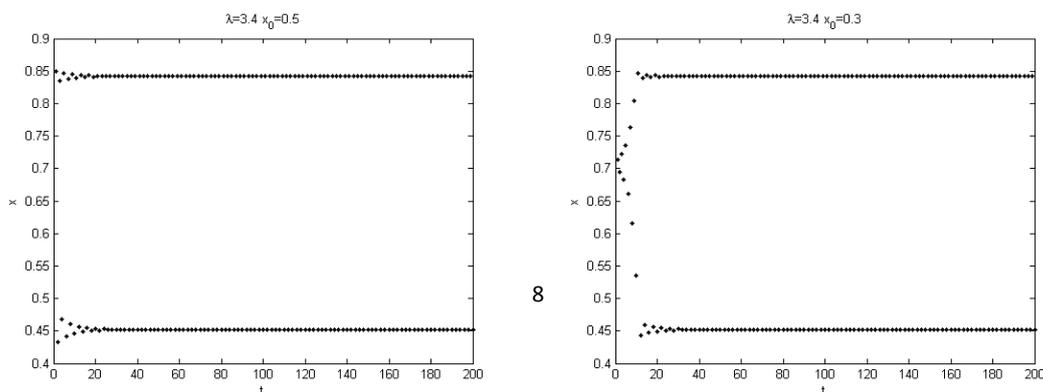


图 5 系统输出状态图

当 $x_{t+2} = x_t = x^*$ 时，计算系统不动点，转换为一元四次方程的求解，则可知，稳定点 x^* 的取值范围稳定，由 l 决定，与 x_0 无关。意指，系统的创新能力参数范围在 (l_0, l_1) 时，随着时间推移，多样性程度会在两个固定值 x_1^*, x_2^* 上跳动，形成的是两组稳定的数值序列（图 5），据公式（4）系统的最大创新潜能为 $N^* = \frac{S(\lambda - 2)}{\lambda - 1} \max\{x_1^*, x_2^*\}$ 。在创新空间内，系统稳定的创新状态有 2 个可能性。

$l_1 = 3.449$ 是系统临界点，为四分岔点，此后 x 系统对应 4 周期。临界处的系统多样性程度失稳，知识创新数目不稳定。创新能力参数取临界值的系统处于变革敏感期。

$l_1 < l < l_2$, $l_2 = 3.544$, 2^2 周期轨道稳定。给定一个 $l \in (l_1, l_2)$ ，系统将演化至稳定的四个周期解。同理如 (l_0, l_1) 阶段，可求得稳定点 x^* ，其取值范围稳定，由 l 决定，且与 x_0 无关。意指，系统的创新能力参数范围在 (l_1, l_2) 时，随着时间推移，多样性程度会在四个固定值上跳动，形成的是四组稳定的数值序列（图 6 左），系统的最大创新潜能为 $N^* = \frac{S(\lambda - 2)}{\lambda - 1} \max\{x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*\}$ 。在创新空间内，系统稳定的创新状态有 4 个可能性。相比上一个稳定阶段，系统的创新空间增倍，创新状态的不可控程度也增倍。

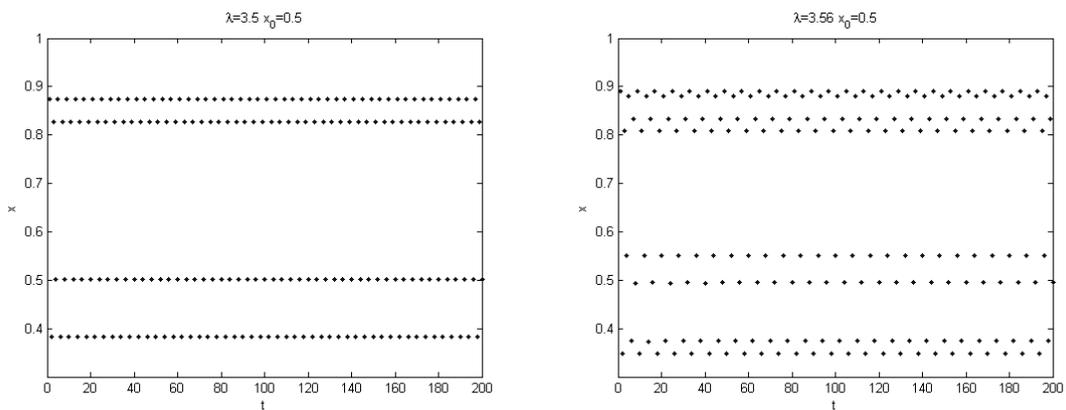


图 6 系统输出状态图

$l_2 = 3.544$ 是临界点，为八分岔点，此时多样性程度不稳定，此后 x 对应 8 周期。以此类推： $l_2 < l < l_3$, 2^3 周期轨道稳定（图 6 右）。 $l_3 = 3.564$ 是十六分岔点，此后对应 16 周期。 $l_3 < l < l_4$, 2^4 周期轨道稳定。 $l_4 = 3.568$ 是三十二分岔点，此后对应 32 周期。……。

$l_{m-1} < l < l_m$, 2^m 周期轨道稳定。 l_m 是临界点。当 m 相当大时, $m \rightarrow \infty$, 即 x_t 的周期为 ∞ , 出现混沌, $l_{\infty} = 3.5699$ [28]。

规律创新阶段, x_t 只在定点间周而复始地跳来跳去, 系统状态图的迭代线分布是分裂的 (图 5-6)。不管初值如何改变, 系统存在有限的多样性程度终态, 周期点的数值始终不变, 这是对初值不敏感的周期变化区域。此阶段的系统结构与创新机制是稳定的, 知识创新的演化与结果可控, 系统具有可预测的多样性。根据渐进性创新是小幅度创新, 用于满足既有顾客和市场的改进式创新[29], 表现为对已有产品和设计的改进、对已有知识和技术的拓展等[30]。我们认为, 系统的规律创新阶段适合于渐进性创新, 系统具有稳定的结构与机制控制创新产生, 进行着持续性却相对小的创新, 甚至此阶段创新能力的增长也具有规律。

Logistic 方程的倍周期分岔过程, 在参数空间和相空间中都表现出自相似和尺度变换下的不变性, 系统的动力学行为呈现了有趣的规律性的周期加倍。每一次分岔都是有规律的, 倍周期的增加按照恒定速率越来越快, 倍周期分岔按一个固定的常数呈几何收敛状态, 此常数称为 Feigenbaum 常数 d_F [31]。在知识创新系统规律创新阶段, d_I 为创新能力增长常数。 d_I 表示 l 值增加时系统分岔的间隔越来越窄, x_t 周期倍增的频率越来越高。

$$d_I = \lim_m \frac{l_m - l_{m-1}}{l_{m+1} - l_m} = 4.6692\dots \quad (6)$$

每分岔一次, 系统的最大创新潜能增大、创新空间增倍、不可控程度增倍, 创新能力增长与创新效果之间是非线性递增的关系。当发生分岔时, 系统的多样性程度不稳定, 系统处于变革敏感期。对于稳定的系统来说, 改变往往很困难却是意义重大的。变革敏感期, 会给系统稳定性带来巨大冲击, 这种震荡极有可能使其退回既有的稳定, 但是 l 继续微小的进步就可能会给系统带来增倍的创新效果。 l 取值越大, 系统可能有越多的多样性程度。

2.2.4 混沌创新阶段

l 不断增大, 最终系统出现奇异吸引子, 系统从倍周期分岔到混沌。 $\lambda \in [\lambda_{\infty}, 4]$, 知识创新系统处于混沌创新阶段 (图 1), 此阶段系统初始状态对系统的演化有影响, 系统有通畅的知识流通结构、高效的知识组合机制等有利创新条件, 系统具备产生高多样性结果的潜力, 但是系统不稳定。此阶段具体的模型分析:

logistic 模型进入混沌状态的奇异吸引子为： $l > l_{\Psi}$ ($l_{\Psi} = 3.5699$) 的混沌区域。系统出现奇异吸引子后，规律性倍周期过程结束，系统进入非周期性但是有界的轨道^[28]。

$l > 3.5699$ ，迭代方程生成的时间序列 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 像是分布在创新空间上的随机数 (图 7)，系统不存在稳定的多样性程度，且随 l 增大系统的最大创新潜能增大。

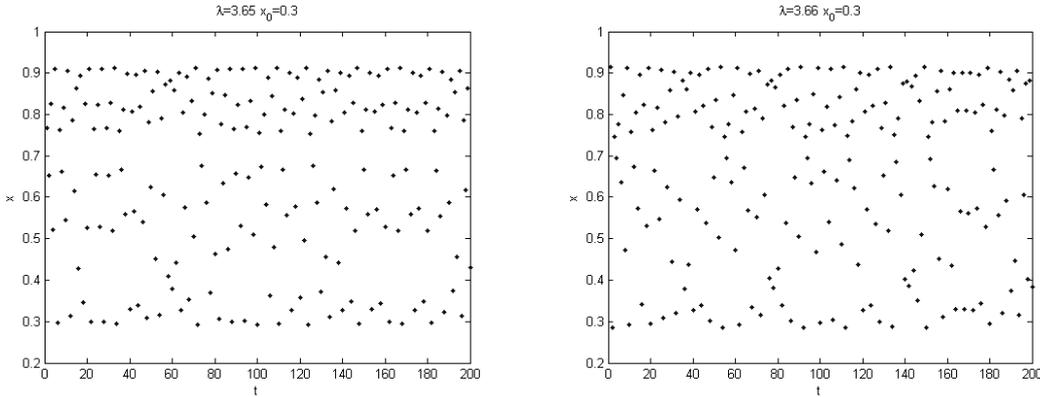


图 7 系统输出状态图

但是混沌区域并非乱成一片，其中有不少周期窗口，周期窗口内还有混沌，混沌内还有窗口，这种结构无限重复，体现了混沌的自相似性质^[32]，在周期窗口中 x_t 初值不敏感。

$l = 3.6786$ 时，第一个奇数倍周期出现，刚出现的奇数倍周期的周期是很长的^[28]。

当 $l > 3.6786$ 时，随着 l 值的不断增大，周期数越来越小，根据 Sarkovskii 定理，这可以看作是一个倒分岔的过程^[33]。倒分岔阶段中，随着倒分岔的不断发生，系统的创新空间相应缩小，但是最大创新潜能增大。初值多样性程度的不同会导致不同的创新空间，而且会出现大量不稳定的创新空间。

$l = 3.8284$ 时，系统出现三倍周期 (图 8)，根据 Li-Yorke 定理，周期三意味着混沌^[19]。

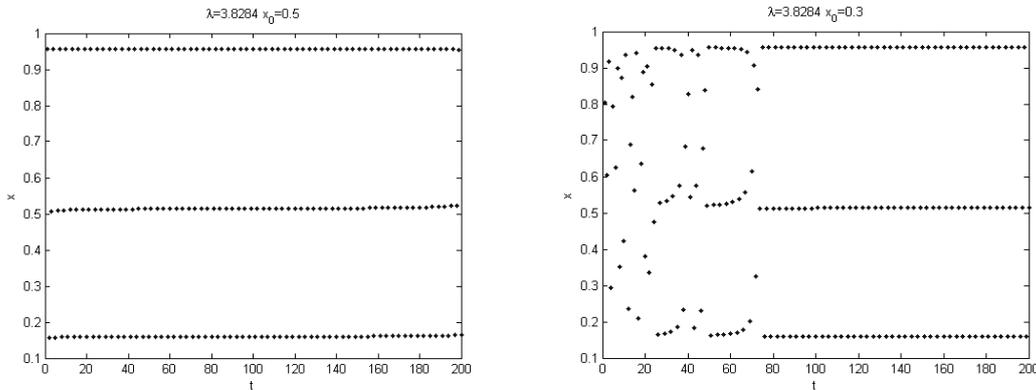


图 8 系统输出状态图

$l > 3.8284$ 后，系统周期趋向无限大， x 做看似无序的跳动，系统创新空间无限大。

这是对初值变化敏感的混沌区域，稍微改变初始多样性， x_t 所经历的具体数值就完全不同。进入混沌阶段，任意微小的初始误差将导致系统多次迭代后的足够大的差异。

$l = 4$ 时，系统进入完全混沌状态，迭代数值布满整个 $[0,1]$ 区间（图 9），系统的创新空间和最大创新潜能都达到最大，其多样性程度能达到最大。

混沌创新阶段系统的结构与创新机制为突出活跃、利于创新的状态，不同的知识间频繁互动，能够组合产生大量新知识，但是很有可能是重复性的，所以系统的多样性知识总量不稳定，有可能这种活跃的机制之下，某个时刻呈现的仍旧是低的多样性程度。但是，不同于规律创新阶段，此阶段不存在一成不变的创新标准和固定的多样性状态；不同于创新匮乏阶段和初步创新阶段，此阶段出现的低多样性程度是不稳定的；随着创新能力参数 l 增大，系统的最大创新潜能增大（图 1）， l 越大系统可能的创新效果越好。系统的创新能力参数进入混沌区域后，此确定性系统下，具体的创新涌现具有不可预测性^[34]。

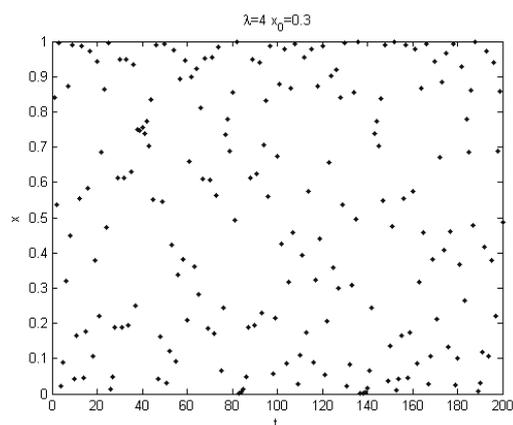


图 9 系统输出状态图

根据突破性创新是能带来市场新机会的重大新技术或技术组合的创新应用^[35]，是未来技术、产品、服务和产业发展的基础^[36]，但是企业实施突破性创新过程中风险大、成本高、周期长，且有可能威胁和破坏现有组织结构^[37]，我们认为混沌创新阶段系统对应于突破性创新。混沌区域内，系统具有大的创新空间和创新潜能，持续保持本阶段系统结构与创新机制，系统会涌现可观的创新。所以系统需要自由度高的创新环境，对失败具有高的包容度；同时创新即伴随风险，系统追求突破性创新则必须承担风险。混沌创新阶段知识创新演化的结果看似随机分布，其实某些参数下依旧对应有周期性存在。所以，规律创新阶段到混沌创新阶段的过渡是存在模糊性的，渐进性创新到突破性创新是个渐进转化的过程。从本文知识创新分析视角来看，以系统创新能力为标准，可对渐进性创新和突破性创新进行统一，系统具体创新模式的选择取决于创新能力与创新阶段的匹配和时机选择，即，在创新能力持续增

长条件下，系统形成渐进性创新并发展为突破性创新只是一个时间问题。

3. 结论

知识创新是一个复杂的演化过程，包含多样性知识的数量扩张和系统创新结构、机制的变化。混沌理论为研究和解释创新问题提供了一个很好的理论基础，我们尝试用非线性的思想和方法挖掘知识创新演化规律。本文认为，知识创新系统是具有非线性性质的复杂系统，参照混沌模型已有的在生物学、经济学等领域的应用，建立本文的知识创新混沌动力学系统模型，对应于知识创新中纷繁复杂的创新行为，其实是由几条核心的、简要的规则决定。系统可能出现多个稳定状态或者混沌状态，不同状态对应不同的结构和性质，随着控制参量的变化，系统会出现失稳、分岔、混沌现象，恰可以描述知识创新过程。对应模型在不同参数下的演化，本文进行知识创新过程分析，将系统的知识创新分为创新匮乏阶段、初步创新阶段、规律创新阶段和混沌创新阶段，分析不同阶段的创新特性与系统的创新规律。这四种阶段的过程划分与主体的生命周期过程非顺序对应关系，而是由系统创新能力决定。

在模型分析基础上，本文给出系统渐进性创新与突破性创新的对应阶段。已有研究认为，渐进性创新与突破性创新是涉及组织资源配置和焦点所在的两类活动^[38]，二者在本质上存在不同，在同一家企业内同时开展十分困难^[39]，由于有限的时间和资源所限，企业应该选择合理创新模式，但是为求在激烈竞争中生存和发展，企业需要寻求渐进性创新与突破性创新的平衡^{[29] [40]}。通过本文的模型分析，从知识创新视角渐进性创新与突破性创新可以统一，可看作是以系统创新能力为基础，系统演化的不同阶段。但是本文对此只是进行了初步探讨，还需要进一步的定量研究。同时限于篇幅，本文并未考虑不同知识创新主体对知识创新系统的影响。另外，企业利用个体和团队的知识资源转化为价值创造活动的的能力，决定了企业的整体绩效^[41]，知识创新是企业利用知识资源的一个重要环节，未来，在本文知识创新演化机制分析基础上，还需要继续从复杂性科学视角进行知识创新扩散、知识管理等研究工作。

参考文献

- [1] Peter Drucker. Post-capitalist Society[M]. New York: HarperCollins, 1993, 5-7.
- [2] Nonaka I., Takeuchi H. The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation[M]. New York, Oxford University Press, 1995, 3-7.

- [3] Kim W. C., Mauborgne R. Fair process managing in the knowledge economy[J]. *Harvard Business Review*, 1997, 75(4): 65-75.
- [4] Anand N., Heidi K. Gardner, Tim Morris. Knowledge-based innovation: emergence and embedding of new practice areas in management consulting firms[J]. *Academy of Management Journal*, 2007, 50(2): 406-428.
- [5] Polanyi M. *The Tacit Dimension*[M]. London, Routledge, 1966, 1-26. (University of Chicago Press, 2009 reprint).
- [6] Gupta A. K., Tesluk P. E., Taylor, M. S. Innovation at and across multiple levels of analysis[J]. *Organization Science*, 2007, 18(6): 885-897.
- [7] 陶海青, 金雪军. 技术创新的演化趋势[J]. *管理世界*, 2002, 2:145, 149.
- [8] 李梅芳. 企业技术创新投资动力学模型与演化分析[J]. *系统工程*, 2010, 28(11): 33-37.
- [9] Leonard-Barton D. Core capabilities and core rigidities: a paradox in managing new product development[J]. *Strategic Management Journal*, 1992, (13): 111-125.
- [10] Wiig K. *Knowledge Management Foundations: Thinking about Thinking: How People and Organizations Create, Represent, and Use Knowledge*[M]. Arlington: Schema Press, 1993, 76.
- [11] Nonaka I. A dynamic theory of organizational knowledge creation[J]. *Organization Science*, 1994, 5(1): 14-37.
- [12] Szulanski G. Exploring internal stickiness: impediments to the transfer of best practice within the firm[J]. *Strategic Management Journal*, 1996, (17): 27-43.
- [13] Nonaka I., Konno N. The concept of “Ba”: building a foundation for knowledge creation[J]. *California Management Review*, Spring, 1998, 40(3): 40-54.
- [14] Nonaka I., Toyama R., Konno N. SECI, Ba and Leadership: a unified model of dynamic knowledge creation[J]. *Long Range Planning*, 2000, 33: 5-34.
- [15] Georg Von Krogh, Nonaka I, Manfred Aben. Making the most of your company’s knowledge: a strategic framework[J]. *Long Range Planning*, 2001, 34: 421-439.
- [16] Argote L., Ella Miron-Spektor. Organizational learning: from experience to knowledge[J]. *Organization Science*, 2011, 22(5): 1123-1137.
- [17] Ragiv Nag, Dennis A. Gioia. From common to uncommon knowledge: foundations of firm-specific use of knowledge as a resource[J]. *Academy of Management Journal*, 2012, 55(2): 421-452.
- [18] Nonaka I., Georg Von Krogh. Tacit knowledge and knowledge conversion: controversy and advancement in organizational knowledge creation theory[J]. *Organization Science*, 2009, 20(3): 635-652.
- [19] Li T Y, Yorke J A. Period three implies Chaos[J]. *The American Mathematical Monthly*, 1975, 82(10): 985-992.

- [20] Lorenz E. N. The Essence of Chaos[M]. London: Routledge, 1993, 2-6.
- [21] Lorenz E. N. Deterministic nonperiodic flow[J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1963, Vol.20: 130-141.
- [22] 张琪昌 等编. 分岔与混沌理论及应用[M]. 天津: 天津大学出版社, 2005, 32.
- [23] Michael J. Stutze. Chaotic dynamics and bifurcation in a macro model[J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 1980, (2): 353-376.
- [24] Anna Agliari, Domenico Delli Gatti, Mauro Gallegati, Stefano Lenzi. The complex dynamics of financially constrained heterogeneous firms[J]. Journal of Economic Behavior and Organization, 2006, 61: 784-803.
- [25] Jordi Caballe, Xavier Jarque, Elisabetta Michetti. Chaotic dynamics in credit constrained emerging economies[J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 2006, 30: 1261-1275.
- [26] Hung-Ju Chen, Ming-Chia Li, Yung-Ju Lin. Chaotic dynamics in an overlapping generations model with myopic and adaptive expectations[J]. Journal of Economic Behavior and Organization, 2008, 67: 48-56.
- [27] 郝柏林 著. 混沌与分形[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004, 91-21, 112-113.
- [28] Robert M. May. Simple mathematical models with very complicated dynamics[J]. Nature, 1976, 261: 459-467.
- [29] Benner M. J., Tushman M. L. Exploitation, exploration, and process management: the productivity dilemma revisited[J]. Academy of Management Review, 2003, 28: 238-256.
- [30] Danneels E. The dynamics of product innovation and firm competences[J]. Strategic Management Journal, 2002, 23: 1095-1121.
- [31] Feigenbaum M. J. Quantitative universality for a class of nonlinear transformations[J]. Journal of Statistical Physics, 1978, 19(1): 25-52.
- [32] 黄润生 编著. 混沌及其应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2000, 140.
- [33] Sarkovskii A.N. Coexistence of cycles of a continuous map of a line into itself[J]. Ukraine Math, 1964, 16:61-71.
- [34] Crutchfield J. P. The calculi of Emergence: computation, dynamics, and induction[J]. Physica D: Nonlinear Phenomena, 1994, 75(1-3): 11-54.
- [35] Tushman M. L., Nadler D. Organization for innovation[J]. California Management Review, 1986, 28: 74-92.
- [36] Tushman M. L., Anderson P. Technological discontinuities and organization environments[J]. Administrative Science Quarterly, 1986, 31: 439-465.
- [37] Mark P. Rice, Donna Kelley, Lois Peters, Gina Colarelli O'Connor. Radical innovation: triggering initiation of opportunity recognition and evaluation[J]. R&D Management, 2001, 31(4): 409-420.

- [38] March J. G. Exploration and exploitation in organization Learning[J]. Organization Science, 1991, (2): 71-87.
- [39] Jan Feller, Annaleena Parhankangas, Riitta Smeds. Process learning in alliances developing radical versus incremental innovations: evidence from the telecommunications industry[J]. Knowledge and Process Management, 2006, 13(3): 175-191.
- [40] He Z., Wong P. Exploration and exploitation: an empirical test of the ambidexterity hypothesis[J]. Organization Science, 2004, 15(4): 481-494.
- [41] Georg Von Krogh. Care in knowledge creation[J]. California Management Review, 1998, 40(3): 133-153.

Analysis of Knowledge Innovation Evolution Based on Chaotic Dynamic Model

Han Rong¹, Lin Runhui¹

(1.Business School, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract The evolution process of knowledge innovation is complex and chaos, while regular and ordered. In this paper, we use chaos theory to analyze the knowledge innovation evolution tendency and rules. Particularly, the knowledge innovation is regarded as complex system. In view of the chaotic characteristic discussion, we propose the chaotic dynamic model of knowledge innovation. Based on the model, we simulate knowledge innovation and study the dynamic evolution process. In condition of different innovation states and system evolution, there are four stages in knowledge innovation: deficient innovation stage, preliminary innovation stage, regular innovation stage and chaotic innovation stage. In the end, from the point of view of knowledge innovation, we discuss the consistency of incremental innovation and radical innovation.

Key words: Knowledge Innovation; Chaos Theory; Dynamic Model; Innovation Evolution

收稿日期 : 2013-04-07 ;

基金项目 : 国家自然科学基金重点课题 (71132001) ; 国家自然科学基金项目 (70972085) ; 天津大学自主创新基金资助项目 (60302030)

作者简介 : 韩蓉 (1985 年 -), 女, 山东淄博人, 博士研究生, 研究方向为复杂性理论应用与知识创新。
林润辉 (1972 年 -), 男, 河北邢台人, 教授, 博士, 研究方向为网络组织与治理、技术与创新管理。