

基于张量分析的知识度规与信息流关系模型^①

蒋军锋, 党兴华

(西安理工大学工商管理学院, 西安 710054)

摘要: 利用张量分析研究技术创新网络中企业知识特征与其信息流之间的数量关系. 知识时空被定义为具有结构特征的局部(全局)信息场. 在知识时空中引入知识能量概念, 分析在不同标架下知识能量的变化规律; 应用知识时空度规分析在知识分别作为矢量与能量时, 技术创新网络知识时空结构特征发生转移的数量特征. 研究表明: 企业知识结构的多样性是创新网络存在的前提条件, 可以用对应的知识时空曲率来刻画企业知识多样性特征; 企业对转移知识与对方企业知识之间的结构关系的认识程度越高、转移知识自身度规越大, 都能促使知识转移过程中的信息流动, 而企业知识结构在转移知识领域的差别越大, 企业之间的信息流动就越困难.

关键词: 技术创新网络; 知识时空; 信息; 度规结构; 时空曲率

中图分类号: C93-0 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2008)02-0027-08

0 引言

技术创新网络是技术创新活动新的组织形式, 网络的生成是为了寻找有助于自身发展的新知识^[1]. 技术创新网络的重要性既在于增强了个体成员的创新性, 也在于其对个体伙伴知识创新能力的组合与放大^[2]. 通过跨组织技术创新网络的应用可以使企业获取新知识, 并且逐步增强企业技术创新的能力^[3].

不应把企业看作是知识扩散的结果, 而应该是知识占有的结果^[4], 其含义在于指出企业的边界及其功能性活动是由知识基础决定的, 知识被认为是行为者(企业)的信息结构^[5], 知识是行动的潜在能力, 与信息不同, 知识与组织特征直接联系, 不能脱离组织而存在^[6], 而组织所拥有的理解与实践的平台是创新企业的知识的两个来源^[7]. 而这两类来源决定了企业的知识基础并进而决定了其在技术创新过程中的搜索方向^[8].

知识能够被表达(无论是以任何形式)是知识流动的必要但不充分的条件, 企业之间知识流动的另外一个前提是知识在行为主体之间分布不均, 从而导致知识有在不同行为主体之间的互补性质, 并且这种性质会沿着时间展开. 知识在技术创新网络之间的流动正是基于知识互补性在时间和空间上的分布结构, 并且这种流动决定了社会关于知识保护的均衡水平^[9-11]. 知识是技术多样性的根源, 并导致新的创新产品的出现^[12], 由此认为知识是企业技术创新的基础. 跨组织学习是企业获得知识的工具, 其目的不是为了占有知识, 而是为了利用知识和创造知识, 特别是隐性知识^[13].

越是在技术上激进的创新就越要求组织的变革^[14], 企业组织结构和技术创新之间存在着一定的关系. 组织知识的分类与知识结构与创新企业跨组织学习的鲁棒性正相关, 组织内外和内部通讯结构, 以及组织内专有知识的角色与分配直

① 收稿日期: 2006-07-11; 修订日期: 2007-04-03.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70672089); 教育部博士点基金资助项目(20050700009); 西安理工大学优秀博士基金资助项目.

作者简介: 蒋军锋(1974—), 男, 湖南常德人, 博士生. Email: nelsonkiang@yahoo.com.cn

接决定了创新企业的表现^[15],组织知识的多样性,单一性和分类分别与创新网络中的联系概率、沟通深度和使用互补性知识相联系^[16]. Gittel 和 Weiss^[17]从组织设计、网络分析和惯例与信息系系统 3 个层次来讨论网络协调、知识转移的发生过程. 网络合作和关键资源与促进知识转移相联系,网络不仅促进网络中知识的转移,还促进新知识的产生^[18]. 王兆祥^[19]对知识转移的一般过程进行了分层研究,建立了知识转移的 6 层模型;韩维贺等^[20]从经验层面上针对知识的创造、组织、转移和应用 4 个基本过程提出了研究知识转移的测量工具;刘冰等^[21]则指出知识流动是企业家网络和企业网络的实质,同时应用网络分析框架来讨论知识流动与网络动态之间的关系;唐方成和席酉民^[22]分析了网络动态与组织知识转移之间的关系,进一步讨论了知识转移过程中的网络动态行为.

知识在技术创新中的重要作用使得组织学习过程中的企业知识特征和企业间合作的信息流得到管理学家的关注,但这两者之间的关系还没有得到充分的研究与关注. 本研究主要对技术创新网络中企业知识结构特征与其中信息流动之间的相互定量关系进行研究,利用张量分析建立分析模型,并对相关问题进行探讨.

1 理论前提

技术创新网络中的技术创新就是参与技术创新的企业利用自身的知识开发新的知识,并将其应用于商业化的过程. 在技术创新过程中,企业利用自身相关知识对其所接收到的信息进行处理,并将处理后的信息输出给合作伙伴,然后合作伙伴重复这样的过程,直至创新完成. 这样,技术创新就是一个独立完整的过程,企业之间的边界就由其创新过程中所涵盖的活动来决定.

技术创新网络中企业之间的交互作用需要从

不同的行为主体来研究,既需要以处于创新过程的上游企业为出发点,同时也需要以处于创新过程的下游企业为出发点,还要能从整体技术创新网络的视角进行研究. 在此过程中,不仅仅要考虑网络的空间结构,还需要研究技术创新网络的历史序列,因而需要不断地变化视角,并把各种视角有规律的联系起来,探讨技术创新网络创新企业交互作用的一般规律(满足形式不变性质与自然规律的相对性原理).

在技术创新网络经验及现实的基础上,将具体的技术创新活动视为物质场,从而可以通过纤维丛与规范场理论建立信息场^②. 任何参与技术创新的企业都是占有一定区域的局部信息场^[23,24],并且,局部信息场具有包含企业技术创新实践的结构特征,从而技术创新企业就是具有一定结构特征的局部信息场. 称这种具有一定结构特征的信息场局部或者全域为对应企业(网络)的知识空间. 考虑引入广义时间参数,将知识空间增加 1 个维度—广义时间 T ,将其变为定常系统^[25],并命名为知识时空,从而可以应用时空场的一般分析工具—张量分析来研究技术创新网络. 这样可以利用张量分析的优势:1) 既可以借助于某一特定的参与创新的企业并通过坐标或者标架变换来研究技术创新网络中任意企业知识时空之间的信息交流,又可以避免由于选择特定企业的偶然性给研究带来非本质因素的影响;2) 可以在大范围内研究技术创新网络的整体知识时空与信息交流之间的关系,从而把整体技术创新网络视为自在的行为主体,而不仅仅是创新企业所组成的加和体. 从而使技术创新网络的相关研究更加具有整体性与动态性,满足自然规律的相对性原理.

由于不同企业对应的结构特征不同,因而知识时空是可以识别的,对于技术创新合作中的任何企业的知识时空就可以惟一赋号. 知识由此被认为是矢量,从而知识矢量与本身所在企业的知

② 信息流在网络知识时空中的作用实质上就是网络知识时空的联络,技术创新活动可以看作是物质场(人力、物力与财力),而技术创新能力和知识时空能量很显然就是定义在物质场上的能量泛函,当然也可以看作是规范场. 在此基础上,参与技术创新的企业之间所涉及关于物质场的交换与作用就是纤维丛伴矢丛上面的联络,而参与技术创新活动的企业之间信息流的联系(决定了规范势,也就是知识能量)就是纤维丛主丛上面的联络. 根据纤维丛理论,主丛联络决定了伴矢丛之间的联络,这和技术创新活动的特征相同,因为知识能力决定了资金和物质等的流动(物质场上的联络),这也体现了知识时空和物质场之间的相互作用. 同时,这也是本文的基本前提.

识时空性质紧密相关,不能不发生扭曲而在不同的企业知识时空中移动.通常研究中的信息流动正是知识矢量在不同知识时空移动过程中发生的扭曲的测度^③.根据物理学定律,这种信息流动被认为是能量流动的测度,从而可以推知知识空间具有能量特征,企业知识空间之间通过能量交换来改变自身结构,以实现经验现实中的知识转移与知识扩散.

2 模型构造

2.1 基本假设

根据上述理论前提,本文的研究集中于技术创新网络的知识时空与其上面的信息流动方面.

1) 技术创新网络中含有 n 个参与创新的企业,即技术创新网络的阶为 n .

2) 技术创新网络中存在着 m 个不能完全替代的产品,根据 Klette 和 Kortum^[26] 的研究,对应的产品构成知识空间中的 m 个维度,考虑时间维度则技术创新网络相关的知识基础构成维度为 $m+1$ 的知识时空;

3) 对应于某一知识矢量,在知识空间中可以由在上述 $m+1$ 维仿射空间中的坐标表达;

4) 任意知识在上述知识空间中具有能量特征,并且这种能量特征是在其相互作用中的功能特征,是知识矢量的仿射量,从而知识能量为标势;

5) 定义技术创新网络中任意企业之间的相互联系为对应知识时空之间的信息流联系,在仿射空间中,这种信息流动的测度特征为建立在知识时空上的两时点之间的仿射联络刻度.

2.2 模型研究

2.2.1 创新网络知识时空的坐标与标架变换

在 n 阶技术创新网络 $m+1$ 维的知识时空中的任意产品知识矢量可以表示为

$$\mathbf{x} = x^\mu \mathbf{e}_\mu, \mu = 0, 1, \dots, m \quad (1)$$

其中: \mathbf{x} 为技术创新网络知识时空中的任意知识向量; \mathbf{e}_μ 为技术创新网络知识时空的标架向量,即不可替代的产品知识向量; $\mu = 0$ 为对应知识的时间坐标.上述表达式采用求和约定^④.

此时,技术创新网络中的某一知识在创新网络中的能量显然与知识矢量的各坐标相关,即对应知识矢量的能量为其坐标表达式中的各坐标分量的仿射函数,令能量泛函为 ϕ , 则

$$\phi(\mathbf{x}) = \phi(x^0, x^1, \dots, x^m) \quad (2)$$

其中, x^0, x^1, \dots, x^m 为对应知识在此知识标架下的坐标分量.可以看出,知识能量为一标势.

在上述基础上,创新企业的知识向量和知识能量在上述标架下可以同样表示为^⑤

$$\begin{cases} \mathbf{x} = x^\mu \mathbf{e}_\mu, \mu = 0, 1, \dots, m \\ \phi(\mathbf{x}) = \phi(x^0, x^1, \dots, x^m) \end{cases} \quad (3)$$

为重新描述技术创新网络知识时空进行坐标变换

$$\mathbf{x}^\mu = \mathbf{x}^\mu(x^0, x^1, \dots, x^m), \mu = 0, 1, \dots, m \quad (4)$$

对其进行微分,坐标变换为

$$d\mathbf{x}^\mu = \frac{\partial \mathbf{x}^\mu}{\partial x^\nu} dx^\nu, \mu = 0, 1, \dots, m \quad (5)$$

知识时空在此点的坐标 $d\mathbf{x}^\mu$ 就成为原坐标的逆变张量.在技术创新活动中,企业知识在不同的知识领域中所表现出来的能量是不一样的.从式(2)中也可以看出,知识能量与采取的知识时空标架相关.现在需要寻找使该企业的知识时空能量最大的标架,在此标架下,该企业的知识能量对外显示出最大值,因而该问题可以描述为极值问题,即 $\max \phi$. 很清楚,这样的问题需要满足如下条件

$$\frac{\partial \phi}{\partial x^\nu} = \frac{\partial \phi}{\partial x^\mu} \frac{\partial x^\mu}{\partial x^\nu} = 0 \quad (6)$$

满足此条件的知识时空标架系统称为该顶点的自然标架系统^⑥.这里基于式(6)所形成的知识时空

③ 其经验现实就是同样的知识,在不同的传播过程中都会发生一定的扭曲或者歪曲,这正是信息的定义是建立在不确定性基础上的原因.

④ 这里采用爱因斯坦求和约定:对上下指标相同时重复轮换求和,即: $x^i \mathbf{e}_i = x^1 \mathbf{e}_1 + x^2 \mathbf{e}_2 + \dots + x^i \mathbf{e}_i$; 以下本文不再作说明,均采用此约定.

⑤ 此处应用活动标架理论.

⑥ 如此定义的张量理论与从线性仿射标架中导出的逆变与协变张量是一致的,这里采用微分形式是因为这种形式在建立活动标架或者是自然标架时更加自然一点.相关的张量引入理论除了这两种方法以外还有第3种方法:流形上的切场与余切场途径定义,这样的定义更适合活动标架,但相关的基础理论更为复杂.见相关的微分几何理论.

中的网络顶点标架及其坐标就是自然标架系统。由此可以导出张量变换规律

$$A'_\mu = \frac{\partial x^{\mu'}}{\partial x^\mu} A_\mu, A_\mu = \frac{\partial x^\mu}{\partial x^{\mu'}} A'_\mu \quad (7)$$

这表明,在任何标架系统内,技术创新网络顶点对应的知识能量与标架变换有关,当技术创新对象(产品或者制度)内容变化时,其对应的企业知识能量变化满足逆变张量变化规律。

2.2.2 知识时空度规的引入

在现实技术创新网络中,人们的意识可以感觉到不同企业之间的知识在相互距离上的差异,本文称其为知识时空中的距离。在给定的企业知识时空标架系统内,在知识时空内相关的空间结构中引入范数(距离),并对范数(距离)定义如下

$$s^{\mu\nu} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x^\mu - x^\nu)^2 + (t^\mu - t^\nu)^2} \quad (8)$$

其中, x^μ, x^ν 为给定企业知识时空标架系统内不同知识维度上的坐标^⑦。

根据微分几何相关理论,上式还可以写成如下一般形式

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu, \mu = 0, 1, \dots, n \quad (9)$$

其中, $g_{\mu\nu}$ 为技术创新网络知识时空中给定企业顶点的度量结构特征,简称为知识时空的协变度规。可以看出,知识时空度规描述的是知识时空中相关知识之间相互距离的特征,也就是技术创新企业之间知识的结构特征。

在已知企业知识时空协变度规的情况下,其逆变度规为

$$g^{\mu\nu} g_{\mu\nu} = \delta^\mu_\lambda = \begin{cases} 0, & \mu \neq \lambda \\ 1, & \mu = \lambda \end{cases}, \mu = 0, 1, \dots, m \quad (10)$$

而技术创新网络中不同企业知识时空的协变度规之间的关系根据式(7)可以表示为

$$g'_{\mu\nu} = g_{\mu\nu} \frac{\partial x^{\mu'}}{\partial x^\mu} \frac{\partial x^{\nu'}}{\partial x^\nu}, \mu = 0, 1, \dots, m \quad (11)$$

由于技术创新网络中各创新企业知识时空的结构特征不同,因而各自对应的自然标架系统也就不同。在技术创新网络阶数为 n 时,对应不同的

企业就可以形成 n 个不同知识时空的自然标架系统。

2.2.3 知识时空度规与信息流动关系

技术创新网络中的企业在技术创新活动中是通过信息来交换知识(时空)能量的(严格来说,是能量在知识时空之间的交换可以被信息测度)。在技术创新过程中,网络中企业 $i \equiv (x^\mu)$ 的知识向量 A_μ 传播到企业 $j \equiv (x^\mu + \delta x^\mu)$ 形成知识向量 $A_\mu + \delta A_\mu$, 根据一般规律,知识转移增量应该与知识源的知识状况和转移知识数量近似地呈线性关系,因而将其表述为

$$\delta A_\mu = \Gamma_{\mu\nu}^\lambda A_\lambda \delta x^\nu \quad (12)$$

称 $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda$ 这一组数为网络顶点 $i \equiv (x^\mu)$ 的仿射联络,这是技术创新网络中不同企业之间的知识时空之间信息流动的几何形式。

将网络企业 $j \equiv (x^\mu + \delta x^\mu)$ 知识时空的协变系数用企业 $i \equiv (x^\mu)$ 知识时空的协变系数表示如下

$$\left. \frac{\partial x^{\mu'}}{\partial x^{\nu'}} \right|_j = \left. \frac{\partial x^{\mu'}}{\partial x^{\nu'}} \right|_i + \left. \frac{\partial^2 x^{\mu'}}{\partial x^{\nu'} \partial x^{\lambda'}} \right|_i \delta x^{\lambda'} \quad (13)$$

而 $A_\mu + \delta A_\mu$ 按照网络企业 j 的协变系数进行张量变换,有

$$A'^{\mu'} + \Gamma_{\mu'\nu'}^{\lambda'} A'_\lambda \delta x^{\nu'} = \left(\frac{\partial x^{\mu'}}{\partial x^\mu} + \frac{\partial^2 x^{\mu'}}{\partial x^\mu \partial x^{\lambda'}} \delta x^{\lambda'} \right) (A_\mu + \Gamma_{\mu\nu}^{\lambda'} A_\lambda \delta x^\nu) \quad (14)$$

把相乘展开,取坐标微分的1次幂,并利用张量变换规律式(7)以及式(5),可以得到如下仿射联络在坐标变换中的变换关系

$$\Gamma_{\mu'\nu'}^{\lambda'} = \frac{\partial^2 x^{\lambda'}}{\partial x^{\mu'} \partial x^{\nu'}} \frac{x^{\lambda'}}{x^{\lambda'}} + \frac{x^{\mu'}}{x^{\mu'}} \frac{x^{\nu'}}{x^{\nu'}} \frac{x^{\lambda'}}{x^{\lambda'}} \Gamma_{\mu\nu}^{\lambda'} \quad (15)$$

当把坐标变换(或者对应的标架变换)理解为企业知识时空中知识维度上的变换时,上式描述的是相同企业中不同知识领域在技术创新过程中信息流交换的几何形式之间的关系;当把变换理解为知识时空顶点(即企业)时,上式描述的是技术创新网络中不同企业知识时空之间信息流交换的几何形式之间的关系。

⑦ 显然,该定义满足范数定义如下3个公理性要求

- 1) $\|d_{ij}\| \neq 0 (\forall d_{ij} \in d), \|d_{ij}\| = 0 \Leftrightarrow i = j;$
- 2) $\|ad_{ij}\| = |a| \|d_{ij}\|, \forall a \in k, \forall d_{ij} \in d;$
- 3) $\|d_{ik}\| \leq \|d_{ij}\| + \|d_{jk}\|, k \in N.$

在技术创新网络中的企业 $i \equiv (x^\mu)$ 处,假设其知识时空邻域与其点的性质完全相同,必然存在

$$\begin{cases} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^\lambda} = 0, \text{ 当 } \delta x^\lambda \rightarrow 0 \text{ 时} \\ \Gamma_{\mu\nu}^\lambda = 0 \end{cases} \quad (16)$$

此时知识矢量在网络知识时空中的流动是可以简单平移的,没有扭曲发生,因而此时存在

$$\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^\lambda} - \Gamma_{\mu\lambda}^\sigma g_{\sigma\nu} - \Gamma_{\nu\lambda}^\sigma g_{\mu\sigma} = 0 \quad (17)$$

将下标 μ, ν, λ 轮换,可以得到

$$\begin{cases} \frac{\partial g_{\lambda\mu}}{\partial x^\nu} - \Gamma_{\lambda\nu}^\sigma g_{\sigma\mu} - \Gamma_{\mu\nu}^\sigma g_{\lambda\sigma} = 0 \\ \frac{\partial g_{\nu\lambda}}{\partial x^\mu} - \Gamma_{\nu\mu}^\sigma g_{\sigma\lambda} - \Gamma_{\lambda\mu}^\sigma g_{\nu\sigma} = 0 \end{cases} \quad (18)$$

将式(18)中的两式相加,减去式(17),再除以 2 就可以导出

$$\Gamma_{\lambda\mu\nu} = g_{\lambda\sigma} \Gamma_{\mu\nu}^\sigma = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial g_{\mu\lambda}}{\partial x^\nu} + \frac{\partial g_{\lambda\nu}}{\partial x^\mu} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^\lambda} \right) \quad (19)$$

将上式 λ 改为 λ' ,并乘以逆变度规 $g^{\lambda\lambda'}$,再对 λ' 求和,利用式(10),导出下式

$$\begin{aligned} \Gamma_{\mu\nu}^\lambda &= g^{\lambda\lambda'} \Gamma_{\lambda'\mu\nu} \\ &= \frac{1}{2} g^{\lambda\lambda'} \left(\frac{\partial g_{\mu\lambda'}}{\partial x^\nu} + \frac{\partial g_{\lambda'\nu}}{\partial x^\mu} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^{\lambda'}} \right) \end{aligned} \quad (20)$$

其中: $g^{\lambda\lambda'}$ 为转移知识的度规特征; $\frac{\partial g_{\mu\lambda'}}{\partial x^\nu}$ 为知识源企业对转移知识和接受企业知识关系的认识;

$\frac{\partial g_{\lambda'\nu}}{\partial x^\mu}$ 为接受企业对转移知识和知识源企业知识关系的认识;

$\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^{\lambda'}}$ 为企业双方知识在转移知识方面的度规特征。

这就是网络中给定企业的知识时空度规张量与其仿射联络(即信息流)之间的关系,它表明:在技术创新网络中某一企业知识时空的附近,技术创新网络知识转移与普通企业生产协作网络的知识转移的规律相同.将知识能量泛函 ϕ 作用于上述仿射联络,得到

$$\phi = \phi(\Gamma_{\mu\nu}^\lambda) \quad (21)$$

可以计算出在此知识时空标架系统下信息流

动带来的能量转移,根据能量与信息之间的关系^⑧,可以计算信息流动的数值.由此可以确定仿射联络的信息值 $I = f[\phi(\Gamma_{\mu\nu}^\lambda)]$,于是,在给定企业的知识度规结构下,给定知识矢量转移到给定知识时空中的信息流动值为

$$\begin{aligned} I &= f[\phi(\Gamma_{\mu\nu}^\lambda)] \\ &= f\left\{ \phi\left[\frac{1}{2} g^{\lambda\lambda'} \left(\frac{\partial g_{\mu\lambda'}}{\partial x^\nu} + \frac{\partial g_{\lambda'\nu}}{\partial x^\mu} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^{\lambda'}} \right) \right] \right\} \end{aligned} \quad (22)$$

2.2.4 模型讨论:知识时空曲率

考虑技术创新网络中企业的知识矢量在信息流途径上的不断移动,即技术创新过程中,在逆变坐标下,知识矢量从 $i \equiv (x^\mu)$ 转移到 $j \equiv (x^\mu + \delta x^\mu)$,最后到 $k \equiv (x^\mu + \delta_1 x^\mu + \delta_2 x^\mu)$,这种创新过程的组织有两种途径(其实质就是知识的扩散以及创造),即

$$\begin{cases} i \rightarrow j \rightarrow k \\ i \rightarrow k \rightarrow j \end{cases}$$

这两种途径其所对应的协变分量差值记为

$$\Delta A_\mu = R_{\mu\nu}^\lambda A_\lambda \delta_1 x^\nu \delta_2 x^\nu \quad (23)$$

这表示知识矢量在知识时空中由网络中相同的企业出发经不同的网络(信息)路径后的知识矢量的差异,其中

$$R_{\mu\nu}^\lambda = \frac{\partial \Gamma_{\mu\nu}^\lambda}{\partial x^{\nu'}} - \frac{\partial \Gamma_{\mu\nu}^{\lambda'}}{\partial x^\nu} + \Gamma_{\mu\nu}^\sigma \Gamma_{\sigma\nu'}^\lambda - \Gamma_{\sigma\nu}^\lambda \Gamma_{\mu\nu'}^\sigma \quad (24)$$

根据张量缩并运算,上式可以缩并为如下形式

$$R_{\lambda\nu} = R_{\lambda\mu\nu}^\mu \quad (25)$$

利用逆变度规张量,再收缩 1 次,就可以得到在技术创新网络中给定企业的知识时空弯曲程度的标量(曲率标量),其表达如下

$$R = R_\nu^\nu = g^{\nu\lambda} R_{\lambda\nu} \quad (26)$$

技术创新网络顶点知识时空的曲率是创新企业知识独特性的描述,它决定该企业在技术创新合作中的知识扩散和知识创造;换句话说,网络企业知识时空的曲率决定了其在技术创新网络中的地位 and 作用,实质上,网络企业知识时空曲率 R 就决定了知识时空作为信息场的拟引力场强 G ^⑨.

⑧ 现代物理学与信息学的进展则表明熵与信息可以通过下式相互联系: $S = -k_B P$,而熵与转移的能量紧密联系,其关系为正相关.

⑨ 根据物理学的引力理论几何化的思考,场强的存在等同于时空的弯曲.

3 经验解释

在给定的技术创新网络中,两个企业之间进行联系的必要条件是两者之间存在某种互补性,因而两个企业之间知识结构的多样性是创新网络形成的必要条件,否则,企业之间就根本没有必要进行合作,这正是根据(17)推出的必然结论。

在上述两个企业联系的演变过程中,相互之间通过信息流动来转移知识,经常在技术创新网络中出现的“南桔北枳”现象,说明了知识并不能在不同的企业之间平行转移,造成这种扭曲的根本原因是企业之间知识结构的差异。知识接受企业越是了解被转移知识与知识源企业之间的关系,对被转移知识的价值就认识得越完全,相应的知识转移对知识接受企业的作用就越大;同样,知识源企业对被转移知识与接受企业知识之间的关系越了解,就越能认识到被转移知识对接受企业的价值,该转移的知识对接受企业的作用也就越大;经验中,知识接受企业与知识源企业之间的知识结构中,在转移的知识方面差别越大,有效的信息流动就越少。当转移的知识发生变化时,转移知识结构越是简单明晰,该项转移知识对应的信息流动就越大;与此相反时,如果转移知识内部的结构越紧密,该项知识就越不容易转移,形成的信息流动就越少。这也是公式(20)与公式(22)所推导出来的结果。

薛求知、关涛讨论了知识特性和知识转移工具对跨国公司内部知识转移结果的影响,构建了包含知识特性、转移工具和知识跨国界转移结果的知识转移过程模型,从经验层面上证实本文的相关结论^[27];特别是胡汉辉、潘安成具体分析了相当于本文中 $\frac{\partial g_{xy}}{\partial x^i}$ 的重叠知识与组织知识转移及组织学习之间的关系,验证重叠知识可以优化知识转移效率与组织学习能力的调节器,从而给予本文以实证经验^[28]。

在现实的技术创新网络中,经常会碰到知识转移问题。技术创新网络中的企业并不关心具体的知识矢量,作为谋求经济利益的创新企业,更多关注的是知识在技术创新中所能起到的作用,而且这种作用在技术创新网络全局中还可以进行比

较。因而这种在特定结构中知识的态特征可以理解为标量,知识从这个意义上来说就存在一种能量状态^[24]。由于能量可以自由的平行移动,因而,当知识作为知识能量理解时,知识可以形成知识流,但实质上,这种意义上的知识流应该被称之为能量流,或者更接近实际的信息流。

4 结 论

本文主要的研究结论有:

1) 在技术创新网络中,企业知识的多样性是企业技术创新网络形成的必要条件。因而可以应用知识时空的曲率来刻画创新网络中企业的知识时空特征;

2) 在企业既定的知识结构状况下,随着创新对象的不同,技术创新网络中的企业知识能量也是不同的。在由不同的创新对象形成的技术创新网络下,同样的企业其作用也是不同的;

3) 技术创新网络中企业知识时空的度规与企业之间的信息流存在明确的数值关系,很明显,转移知识自身的知识度规越大,同时其分别与知识源企业和知识接受企业所形成的知识度规变化率越大,在技术创新合作时企业之间信息流动的数值就越大。而企业之间的知识度规在转移知识方面的变化率越大,相同情况下信息流动的数值就越小。

创新网络中企业的知识度规与信息流之间的关系在理解技术创新网络中企业之间的耦合关系时有着基础的理论意义,本文中的信息流正是这种耦合作用中的不变量,而相应的企业知识结构正是企业相互耦合的主观基础。相关的研究结论可以为企业在参与到创新网络中选择合作伙伴时提供参考,特别是对利用自身知识、技术与网络中其它企业的知识、技术之间的结构差异来加强技术创新合作,促进知识转移与技术扩散,维持合作关系有着一般意义。同时,也为技术创新过程中企业之间发挥自身知识、技术优势提供了理论支撑。

本文仅仅限于理论层面上的推导,需要进一步研究的是经验世界中企业知识特征的数学表达,然后利用相关的定量模型将本文结论具体化。

未来的研究还需要从理论上研究技术创新网络的结构特征与知识时空之间的相互联系,特别需要研究知识能量在组织结构演变中的作用,从而解决组织(网络)形态演变过程中的遗传与变异问题。

参考文献:

- [1] Jones O, Conway S, Steward F. *Social Interaction and Organizational Change: Aston Perspectives on Innovation Networks* [M]. London: Imperial College Press, 2001.
- [2] Rothwell R, *et al.* Managing learning in informal innovation networks: Overcoming the Daphne-dilemma[J]. *R&D Management* 2000, 30(2): 139—149.
- [3] Sicotte H, Prefontaine L. Performance factors of international R&D projects. *Innovation in Technology Management - The Key to Global Leadership*[R]. PICMET '97: Portland International Conference on Management and Technology, 1997. 964—968.
- [4] Rothwell R. Towards the fifth-generation innovation process[J]. *International Marketing Review*, 1994, 11(1): 7—31.
- [5] Herrmann-Pillath. On the ontological foundations of evolutionary economics[A]. Eds Dopfer K *Evolutionary Economics: Program and Scope*[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [6] Malhotra Y. Knowledge management for the new world of business[J]. *Journal for Quality and Participation Special Issue of Learning and Information Management*, 1998, 21(4): 58—61.
- [7] Mazzoleni R, Nelson R R. Economic theories about the benefits and costs of patents[J]. *Journal of Economic Issues*, 32(4): 1031—1052.
- [8] Pavitt K. Products and organization in the innovating firm: What adam smith tells and joseph schumpeter doesn't[J]. *Industrial and Corporate Change*, 1998, 7(3): 433—452.
- [9] 汪丁丁. 互补性、概念格、塔尔斯基不动点定理[J]. *经济研究*, 2001, 36(11): 84—95.
Wang Dingding. Complementarity, concept lattice and Tarski fixed-point theorem[J]. *Economic Research Journal*, 2001, 36(11): 84—95. (in Chinese)
- [10] 汪丁丁. 知识沿时间和空间的互补性以及相关的经济学[J]. *经济研究*, 1997, 32(6): 70—78.
Wang Dingding. Complementarity and economic for knowledge on time and space[J]. *Economic Research Journal*, 1997, 32(6): 70—78. (in Chinese)
- [11] 汪丁丁. 知识表达、知识互补性、知识产权均衡[J]. *经济研究*, 2002, 37(10): 83—92.
Wang Dingding. Knowledge representation, knowledge complementary and game-theoretical equilibria of intellectual property rights[J]. *Economic Research Journal*, 2002, 37(10): 83—92. (in Chinese)
- [12] Arora A, Fosfuri A, Gambardella A. Markets for technology and their implications for corporate strategy[J]. *Industrial and Corporate Change*, 2004, 10(2): 419—451.
- [13] Grant R M, Baden-Fuller C. A knowledge accessing theory of strategic alliance[J]. *Journal of Management Studies*, 2004, 41(1): 61—84.
- [14] Green S G, Gavin M B, Aiman-Smith L. Assessing a multidimensional measure of radical technological innovation[J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1995, 42(3): 203—214.
- [15] Cohen W M, Levinthal D A. Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation[J]. *Administrative Science Quarterly*, 1990, 35(1): 128—152.
- [16] Pelikan P. Bringing institutions into evolutionary economics: Another view with links to changes in physical and social technologies[J]. *J Evol Evon*, 2003, 13(6): 237—258.
- [17] Gittell J H, Weiss L. Coordination network within and across organizations: A multi-level framework[J]. *Journal of Management Studies*, 2004, 41(2): 127—153.
- [18] Hardy C, Phillips N, Lawrence T B. Resource, knowledge and influence: The organizational effects of inter-organizational collaboration[J]. *Journal of Management Studies*, 2003, 40(2): 321—347.
- [19] 王兆祥. 知识转移过程的层次模型[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(3): 122—127.
Wang Zhaoxiang. Hierarchy model of the knowledge transfer process[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2006,

- 14(3): 122—127. (in Chinese)
- [20] 韩维贺, 李 浩, 仲秋雁. 知识管理过程测量工具研究: 量表开发、提炼与检验[J]. 中国管理科学, 2006, 14(5): 128—136.
Han Weihe, Li Hao, Zhong Qiuyan. Research on measurement tools for knowledge management process: Development, extracting and test of measurement chart[J]. Chinese Journal of Management Science, 2006, 14(5): 128—136. (in Chinese)
- [21] 刘 冰, 陶海青. 知识流动研究范式的一个扩展: 从企业网络到企业家网络[J]. 科学学与科学技术管理, 2006, (2): 61—66.
Liu Bing, Tao Haiqing. Extension of the research paradigm for knowledge flowing: From net of enterprises to of entrepreneurs[J], Science of Science and Management of Science and Technology, 2006, (2): 61—66. (in Chinese)
- [22] 唐方成, 席西民. 知识转移与网络组织的动力学模式 (II): 吸收能力与施放能力[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(9): 83—89.
Tang Fangcheng, Xi Youming. Dynamic pattern of knowledge transfer and net organization (II): Ability of absorption and release[J], Theorem and Practice of System Engineering, 2006, 26(9): 83—89. (in Chinese)
- [23] 党兴华, 蒋军锋. 网络环境下企业技术创新合作及界面管理研究[R]. 国家自然科学基金报告(NSFC: 70440008), 2005.
Dang Xinghua, Jiang Junfeng. Research on The Cooperation and Interface Management of Enterprise's Techno-innovation under Network[R]. NSFC: 70440008, 2005.
- [24] 蒋军锋, 党兴华, 刘兰剑. 基于现代场理论的技术创新网络知识时空的测度研究[J]. 中国软科学, 2007, (3): 22—29.
Jiang Junfeng, Dang Xinghua, Liu Lanjian. Research on characters of measurement of techno-innovation network knowledge based on modern field theorem[J]. China Soft Science, 2007, (3): 22—29. (in Chinese)
- [25] 罗定军, 张 祥, 董梅芳. 动力系统的定性理论与分支理论[M], 北京: 科学出版社, 2001.
Luo Dingjun, Zhang Xiang, Dong Meifang. Qualitative and Bifurcation Theorem for Dynamic System[M]. Beijing: The Science Press, 2001. (in Chinese)
- [26] Klette J, Kortum S. Innovating firm and aggregate innovation[J]. Journal of Political Economy. 2004, 112(5): 986—1015.
- [27] 薛求知, 关 涛. 跨国公司知识转移: 知识特性与转移工具研究[J]. 管理科学学报, 2006, 9(6): 64—72.
Xue Qiuzhi, Guan Tao. Knowledge transfer of multi-nation corporation: Characters of knowledge and tools of transfer[J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(6): 64—72. (in Chinese)
- [28] 胡汉辉, 潘安城. 组织知识转移与学习能力的系统研究[J]. 管理科学学报, 2006, 9(3): 81—87.
Hu Hanhui, Pan Ancheng. System research on knowledge transfer and learning ability of organization[J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(3): 81—87. (in Chinese)

Modeling the relation ship between measurement gauge of knowledge and information flow based on tensor analysis

JIANG Jun-feng , DANG Xing-hua

School of Business Administration, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China

Abstract: This paper applies tensor analysis to the of the quantitative relations between characteristics of the enterprise's knowledge and its information flow: Knowledge space-time is defined as a local(global) information field that bears structural features and the concept "knowledge energy" is introduced analyze the turn-over

(下转第 79 页)

- [13] Gurdal E. Pricing Models for Two-Stage Supply Chains[D]. Georgia Institute of Technology, 2001.
[14] Myerson R B. Game Theory: Analysis of Conflict[M]. Cambridge: Harvard University Press. 1991.

Study on transfer pricing in supply chain based on delivery lead-time inventory optimization

FENG Hua¹, CUI Yuan-feng², MA Shi-hua³

1. Economics and Management School, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
2. School of Business Management, Zhongnan University of Economics and Laws, Wuhan 430074, China;
3. College of Management, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430070, China

Abstract: A delivery time sensitive two-player channel that operates in a make-to-order or assemble-to-order fashion has been studied by this article. Based on the Stackelberg and the two-part profit sharing pricing mechanisms, it analyzes the relatively optimal buffer size, transfer price, and the quoted delivery time that maximize revenues less total variable production costs, inventory holding costs, and the lateness penalty (or out-of-stock) costs. Further, the robustness of optimal decision contributions when the model parameters are mis-estimated has also been investigated. It is shown that the deviation of quoted delivery time, the lateness penalty and the out-of-stock cost may influence the channel total cost and the appropriate transfer pricing decisions, and further affect the supplier's optimal buffer size decision. However, the manufacturer can induce the supplier to choose channel optimal decisions by adopting a certain two-part profit sharing pricing mechanism.

~~~~~  
(上接第 34 页)

rules of knowledge energy under different gauges; the measurement gauge of knowledge space-time is used to analyze the quantitative features of the structural features of knowledge space-time in the techno-innovation network when a transfer occurs to knowledge as a vector and energy respectively. The result shows that the diversity of knowledge structure is a pre-condition for the presence of innovation network, and its characteristics can be illustrated by the corresponding curvatures of knowledge space-time. Moreover, the more an enterprise knows about the structural relations between the transferred knowledge and its counterpart's knowledge (and vice versa), or the greater the measurement gauge the transferred knowledge may internally have, the more the information flow in the process of knowledge transfer. On the other hand, the greater the difference enterprises may have from each other in the structural features of the transferred knowledge, the more difficulty there will be in information flow between them.

**Key words:** techno-innovation network; knowledge space-time; information; structure of measurement gauge; curvature of space-time