

知识单元特征对发明者知识组合行为的影响*

——知识网络的视角

王萍萍¹ 王 毅²

(1. 中央财经大学国防经济与管理研究院,北京 100081;

2. 清华大学经济管理学院,北京 100084)

内容提要:发明作为技术创新活动的重要组成部分,对其过程和质量的影响因素的探究一直是创新领域的热点话题。知识组合领域的学者认为,一项发明本质上是一组彼此连接的知识单元,发明过程的微观机制表现为知识单元之间连接关系的建立和改变。现有的研究通常以个人或组织为单位,检验“特征—行为—绩效”之间的关系。但是以个人或组织为单位的分析假定一个人或一个组织在一定时间段内的发明活动是同质化的,忽略了不同发明活动之间的差异。本文结合知识组合理论和社会网络理论,以发明活动为分析单位,推导了影响发明者行为的微观机制,提出了知识多样性、知识嵌入性影响发明者创造性知识组合行为的理论框架。并以纳米技术专利为样本,通过 Probit 回归的方法进行实证检验。结果表明:知识多样性和知识嵌入性对发明者创造性知识组合行为分别有正向和倒 U 型的影响,且知识多样性会调节知识嵌入性对创造性知识组合行为的倒 U 型影响。本文的重要贡献在于揭示了发明过程的微观规律,对现有的创新研究是重要的补充,同时为企业、尤其是高新技术企业的技术管理提供了重要的参考。

关键词:知识单元 知识组合 知识网络

中图分类号:F273.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—5766(2018)05—0092—16

一、引言

发明者作为发明活动的执行者,其行为倾向和创新绩效一直是创新领域的学者们高度关注的话题。大量的研究通过构建发明者合作网络,分析发明者个体特征以及所处社会网络的网络特征对个体或企业创新行为或创新绩效的影响。发明者的个体特征反映了发明者自身的知识储备,这种知识储备会影响随后的创新行为以及创新绩效。例如,具有科学教育背景的发明者在创造新知识时更愿意跨越知识边界,进行远距离创新搜索;相较而言,具有工程教育背景的发明者远距离创新搜索的可能性会较低(Gruber 等,2013)^[1]。发明者的网络特征是指发明者在该社会网络中所处的位置特征,这种特征反映了发明者可获取的外部知识以及社会资本。比如,当发明者处于密度较高的网络时,网络内部的知识流动会变得非常容易,成员间比较容易建立信任关系,沟通和协调的

收稿日期:2018-01-17

* 基金项目:国家自然科学基金项目“我国企业复杂技术创新中的创新搜索研究”(71172008);清华大学自主科研计划文科专项项目“中国社会经济文化重大专项”(2015THZWSH07)。

作者简介:王萍萍(1989-),女,河南沁阳人,助理研究员,博士,研究领域是技术创新、创新管理、军民融合,电子邮箱:wangpp.11@sem.tsinghua.edu.cn;王毅(1972-),男,湖南冷水江人,副教授,博士,研究领域是企业技术创新管理、企业能力、知识转移与知识创造,电子邮箱:wangyi@sem.tsinghua.edu.cn。通讯作者:王萍萍。

成本降低。但是在这样的网络中,发明者能够获取的异质性资源有限,知识冗余度较高 (McFadyen 等,2009)^[2]。除了成员间关系强度,现有的研究对成员间关系类型的影响也有所讨论。如在经理人网络中,经理人之间的关系类型,如业务关系或政治关系,会通过不同的机制对企业的新产品开发产生不同的影响 (Shu 等,2012)^[3]。这些研究为理解个体的创新行为或绩效提供了重要的理论和经验支撑。越来越多的学者意识到,尽管创新研究最终要解决的是企业在创新中面临的问题和挑战,但是,如果局限于以个体或企业为分析对象,不能真正反映创新过程中存在的微观规律。因为这些研究往往将个体或企业在一定时间段内的所有创新活动看作一个整体,而忽略了单个创新活动之间的差异性。这些差异可能不是由个体或企业的主观因素造成,而是遵循知识和技术发展的客观规律。这种规律可能是由知识本身的特征所决定。因此,聚焦单个创新活动并分析其微观过程的研究具有理论必要性和实践紧迫性 (Paruchuri 和 Eisenman, 2012^[4];曾德明和周涛,2015^[5])。

归纳现有研究,个人所处的网络可以分为三类:以个人为节点构成的个人合作网络,以个人所在的组织为节点构成的组织间网络(如联盟等),以及个人所拥有的知识所嵌入的知识网络。个人合作网络和组织间网络的研究成果非常丰富,而知识网络的研究近年来才受到广泛的关注 (Phelps 等,2012)^[6]。尽管以个人或组织为节点构建的网络也常被称为知识网络,但是,这两种网络只能间接反映知识特征,没有深入到微观的知识单元层次。例如,Subramanian 和 Soh (2017)^[7]分析了联盟的知识多样性对企业知识组合的影响。但是,这些研究往往以个人或企业而非具体的发明活动为分析单元,将个人或企业在观测时间窗口内的所有活动看作一个整体,忽略了不同活动之间的差异。事实上,即便是同一个发明者开展的不同发明活动,其差异都是存在的。而且,这部分差异无法通过分析个人或组织层面的特征予以表现 (汪涛等,2010^[8];高继平等,2015^[9])。一项标志性的研究来自于 Wang 等 (2014)^[10],在以研究人员为节点构造的合作网络之外,他们又以发明者所拥有的知识单元为节点构造知识网络。他们提出,研究人员的合作网络和知识网络之间存在耦合作用,两个层次的网络均会影响研究人员的探索式创新行为。他们构造了知识单元在知识网络中的结构洞和中心度变量,检验了研究人员所持有的知识单元的结构洞和中心度对其探索式创新行为的影响。结果表明,知识单元的结构洞和中心度分别对研究人员的探索式创新行为有正向和倒 U 型的影响。Wang 等 (2014)^[10]的研究肯定了知识网络对个体行为的影响,但是,因变量的测度仍然采用的是以研究人员在五年时间窗口内为企业带来的新的知识单元的个数的方法,仍然没有考虑不同发明活动之间的差异。

为了解释创新过程中不受个体或企业层次因素影响的那部分差异,本研究做出如下设计。第一,以发明活动而非个体或企业为分析对象。以发明活动为分析对象是反映和解释发明或创新过程的微观规律的最直观的方式。第二,立足于知识单元层面的分析。根据知识组合理论,任何一项技术都可以看作是一组知识单元组合的结果。因此,本文通过分析知识单元的特征对发明者知识组合行为的影响,能够解释发明活动的微观规律。第三,遵循已有研究的惯例,以专利近似代表发明。尽管不是所有的发明都会申请专利,但是,专利是现有研究中公认的、能够较为有效的反应发明和技术创新的样本 (Carnabuci 和 Operti,2013)^[11]。且专利数据的优势在于包含专利的分类信息。现有的研究常将专利的分类号看作是一种技术功能(知识单元),分类号在专利中的共现视为一种知识单元的连接 (Kaplan 和 Vakili,2015^[12];Strumsky 和 Lobo,2015^[13];Xiao,2015^[14])。因此,可以根据专利的分类号及其共现关系构造知识网络,根据分类号共现关系的变化追踪知识单元的组合。第四,如果将专利看作是知识网络中不同节点之间连接关系的变化,根据社会网络的分析思路可以推断,节点(知识单元)和线(连接关系)是影响发明者行为及专利质量的重要因素。节点所包含的技术功能决定了知识组合的空间和潜力、而知识单元的连接关系影响知识组合的难易程度

(Tiwana,2008)^[15]。基于此,本文提出了知识单元的技术多样性(知识多样性)和知识单元的网络嵌入性(知识嵌入性)两个变量,检验其对发明者知识组合倾向的影响。本文的创新表现在以下几个方面:第一,本文立足于发明活动本身而非个人或企业。与从个人或企业的视角出发分析创新行为和绩效的影响因素不同,从发明活动本身出发的分析强调了不同发明活动之间的差异,能够揭示发明过程的微观规律。第二,本文将社会网络分析的方法应用于微观的知识单元分析,通过构造知识单元网络,加以严密的逻辑推导,提出了影响发明者在特定发明活动中的行为倾向的因素,并进行实证检验。本研究不仅丰富了现有的创新研究,同时为企业的创新管理提供坚实的理论支撑,更为企业、尤其是高新技术企业应对高速变化的技术环境提供指导和参考。

二、理论与研究假设

1. 知识网络的构建

根据知识组合理论,创新的过程本质上是对现有知识和(或)新知识进行(重新)组合的过程(Kogut和Zander,1992^[16];Grant,1996^[17])。任何一项技术都可以分解为一组以特定方式组合的知识单元(Carnabuci和Operti,2013^[11];Strumsky和Lobo,2015^[13])。知识单元是最小的、不可再细分的知识单位,是知识组合、创造新知识或新技术的基本要素(周宁等,2006^[18];赵蓉英,2007^[19])。

现有的研究在追踪知识单元及其组合时,通常以专利数据为样本,以专利的分类号代表知识单元。本文选取的样本数据来源于美国专利商标局(以下简称USPTO)。根据USPTO的定义,专利的分类号由一个大类和一个子类唯一确定;不同的分类号代表不同的技术功能(Strumsky等,2012^[20];Strumsky和Lobo,2015^[13])。同时,一个大类包含多个子类(分类号),表示一个技术领域。因此,可以根据专利的分类号和分类号的共现关系构造知识网络(Phelps等,2012)^[6]。本文样本是在USPTO申请并获得授权的纳米技术(大类号为977)的专利数据。以1990年申请的专利为例,可以构造如下知识网络(如图1所示)。其中,知识网络包含节点数290个,连接数5788。节点的大小反映了节点的度中心度,线的粗细反映了节点之间的共现频次。

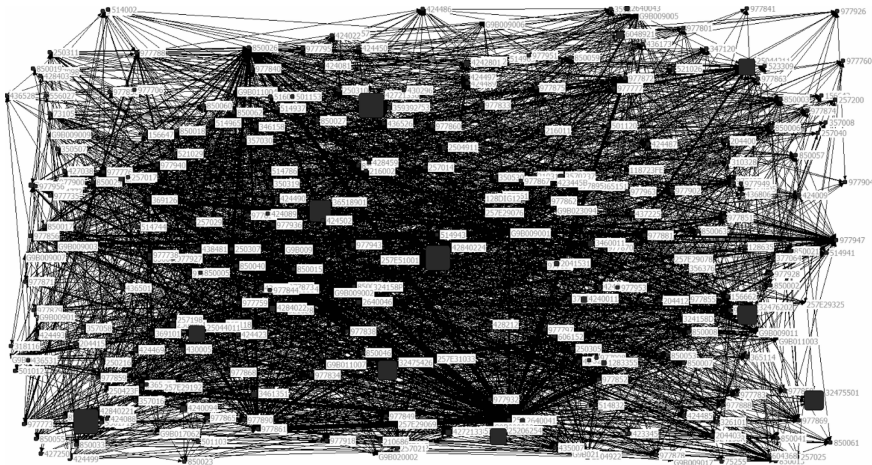


图1 1990年纳米技术领域知识网络

资料来源:本文绘制

图1中,知识网络的节点为1990年申请并在随后获得授权的所有专利的分类号。不仅包括那些属于977大类的分类号,还包括来源于其他大类(技术领域)的分类号。因为一项技术的产生通常需要来源于不同领域的知识单元的组合。因此,一个知识网络可能同时包括多个子网络,子网络即专利的大类,是一组在技术功能上相近的分类号的集合(Strumsky和Lobo,2015)^[13]。在1990年

的知识网络中,存在 48 个子网络。其次,知识网络是动态演化的。随着新专利的产生,知识网络的规模在增加,节点之间的连接关系也在发生变化。这种变化表现在:1)在 $t-1$ 时的知识网络中不存在连接关系的知识单元在 t 时建立了连接;2) $t-1$ 时刻已经存在连接关系的知识单元之间的连接强度变化或在它们的连接中增加或删减知识单元。此外,一项专利在知识网络中表现为分类号两两连接的闭合网络 (Park 和 Sharma, 2016)^[21]。以专利 US8815683B2 和 US8808857B1 为例,它们在知识网络中表现为由其分类号组成的闭合网络,如图 2 所示。

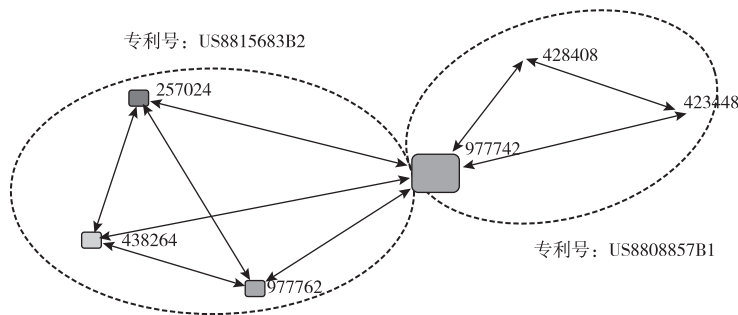


图 2 专利与知识网络中的闭合网络

资料来源:本文绘制

基于以上分析可知,新技术的产生可以通过三种路径实现:第一,将知识网络中已经存在,但是没有建立连接关系的知识单元连接起来;第二,在已有连接的基础上,通过增加、减少知识单元或改变连接方式来实现知识重组;第三,将知识网络中已有的知识单元与新的知识单元进行组合 (Galunic 和 Rodan, 1998)^[22]。知识单元的特征会通过影响知识组合的潜力和难易程度来约束发明者的行为 (Tiwana, 2008)^[15]。结合社会网络和知识组合的相关研究,可以发现,节点的属性和节点的关系是影响发明者知识组合行为的关键因素。在知识单元层面,节点的属性无疑就是其技术功能,节点之间的技术多样性 (知识多样性)^①是创新领域的学者非常关心的话题 (Nystrom, 1976^[23]; van den Bergh, 2008^[24]; Fernandez-Ribas 和 Shapira, 2009^[25]; Lin, 2011^[26]; Pandza 等, 2011^[27]; Terjesen 等, 2011^[28])。知识多样性决定了发明者在进行知识组合时可利用的潜力和空间。同时,知识单元之间的关系强度会影响发明者打破现有连接、建立新连接的难易程度 (Xiao, 2015)^[14]。而这一属性可以通过知识单元在整个知识网络中其他节点的关系特征予以反映,即知识单元的网络嵌入性。

2. 发明者知识组合行为类型

在创新研究领域,发明者或企业的创新行为一直是研究的焦点,主要源于“行为主导结果”的基本逻辑。关于发明者的行为类型,已有研究中存在不同的划分方法。本文将这些划分方法归纳为两类:结果导向和过程导向。

结果导向的划分方法的典型代表为 Henderson 和 Clark (1990)^[29],他们根据产品元件的特征和元件之间关系特征,将创新划分为渐进式创新、模块化创新、架构式创新和颠覆性创新。虽然这一划分方法在创新研究中被广泛使用,但是,在实际操作过程中对不同类型创新的识别难度较大。另外一种结果导向的对创新活动的划分方法将发明者的创新行为划分为探索式创新和开发式创新。这一划分方法源于 March (1991)^[30]基于组织学习理论对组织学习活动的分类。其中,探索式组织学习侧重于探索开发新的机会,而开发式组织学习则倾向于在已有知识或能力的基础上进行改进和强化。Benner 和 Tushman (2003)^[31]在 March 的理论基础上提出了探索式创新和开发式创新的

① 在创新领域的相关研究中,为了与知识的地理多样性予以区分,常将知识单元在内容上的多样性定义为技术多样性。

概念。在实际研究中,一种常用的对探索式/开发式创新活动的识别是通过专利影响的评估(通常以专利被引用的次数来测度)来实现。例如,Schoenmake和Duysters(2010)^[32]依据专利被引用的情况将创新活动划分为颠覆性创新和非颠覆性创新。类似的方法在Kaplan和Vakili(2015)^[12]的研究中也有所体现。

以过程为导向的分类方法则通过追踪发明者在创新过程中的行为轨迹来反映行为倾向,这种分类方法正是知识组合领域的研究普遍采取的一种方式。如Phelps(2010)^[33]追踪了公司引用的知识单元的情况来判断探索式创新活动。如果公司在一段时间窗口内引用了之前未曾引用过的知识单元,则认为该公司的创新活动为探索式的。Gilsing和Duysters(2008)^[34]也采用了类似的方法,他们认为,如果一个公司新申请的专利中包含该公司之前所有的专利均没有包含的分类号,则可以认为这一专利是基于探索式创新活动产生的。Carnabuci和Operti(2013)^[11]将发明者的知识组合活动划分为创造性的和利用式的。当某一项专利发明引用了该公司在近五年内没有引用的分类号时,则认为该知识组合为创造性的;相反,当某一专利的后向引用中的所有分类号近5年内均被该公司的其他专利引用过,那么该知识组合即为利用式的。类似地,Wang等(2014)^[10]根据发明者新产生的专利是否引入新的知识单元对其创新行为进行评估。当发明者在新产生的专利中引入对其和公司而言均是新的知识单元,那么可以认为其创新行为是探索式的。尽管这些研究均从过程的视角对发明者的知识组合行为进行分类和界定,但是,一个明显的缺陷在于,这种定义以个体或公司为参照系,忽略了整个技术领域的发展阶段。换句话说,对A公司而言是首次出现的知识单元而在整个知识网络中可能早已出现。基于此进行的知识组合,从整个行业来看已经不具备创造性。因此,基于这种定义和分类方法没有办法准确度量发明者知识组合行为的创造性,同时,会导致在检验知识组合行为和专利质量的关系时产生难以解释的结果。

Strumsky和Lobo(2015)^[13]以专利为分析对象,依据知识单元之间是否已经存在连接关系,以及知识单元是否首次进入知识网络,将知识组合划分为四类:原始组合、新颖组合、知识重组和组合强化。以1970—2014年所有在UPSTO申请并获得授权的专利为样本进行大数据分析的结果表明,知识单元之间在 $t-1$ 时是否存在连接关系对专利质量(被引用次数)不存在显著的影响,真正影响专利质量的因素在于知识单元对于整个知识网络而言是否为首次出现,即知识组合是否为已有知识和新知识的组合。首次出现的知识单元存在两种可能的路径:一是发明者通过远距离搜索将其他知识单元引入该知识网络并建立该知识与本网络中其他知识单元的组合;二是发明者在重组本网络的知识单元的过程中创造了新的知识单元,并将其与现有的知识单元进行组合。发明者基于这两种路径为现有的知识网络创造了新的知识,本文将此类组合定义为创造性的知识组合。反之,当发明者的知识组合发生在本知识网络已经存在的知识单元之间,无论这些知识单元是否在此之前已经存在连接关系,此时的知识组合行为即为利用式的。

3. 知识多样性与发明者知识组合行为

知识基础观认为,企业是知识的集合体,多样化的知识是企业知识组合能力的重要来源,对企业创新绩效有着决定性的作用(Grant,1996^[17];1996^[35])。在一个知识网络中,一组知识单元的多样性是指它们跨越不同子网络(知识领域)的程度(Grebel,2013^[36];Kaplan和Vakili,2015^[12]),反映了发明者能够在知识组合中挖掘出的知识的价值,从而影响发明者组合知识的行为倾向。知识多样性主要通过以下两种机制影响发明者创造性的知识组合:

(1)知识多样性影响知识单元可建立的新连接的机会和潜力。处于同一个知识领域内的知识单元具有相似的功能,以它们为基本要素进行知识组合时由于吸收能力较高且组合成本较低而往往受发明者青睐。但是,由于知识相似性较高导致发明者陷入“本地搜索陷阱”(Ahuja和Lampert,2001)^[37],制约了发明者的探索式创新,此时的知识组合局限于对有限范围内的知识单元的反复利

用。反之,当知识单元来源于不同的知识领域,为发明者提供了建立知识单元之间新连接的机会(Phene等,2006)^[38],为发明者创造性地知识组合提供了更多的可能性。

(2)知识多样性影响不同类型知识组合的效率。发明者“天生”表现为愿意开展利用式的知识组合活动,这是因为利用式的知识组合难度较低、成本较小。利用式的知识组合意味着在以往的创新活动中已经存在关于这些知识单元使用的经验,发明者可以遵循已有的路径利用和组合这些知识单元,效率高且成本低。但是,当知识单元的多样性较高时,发明者会发现利用式知识组合的固有优势不再。因为要利用这些多样化的知识进行组合同样非常困难,与创造性地知识组合相比优势变小甚至消失(Carnabuci和Operti,2013)^[11]。此时发明者可能更倾向于利用多样化的知识开展创造性的知识组合。

因此,整体上,知识多样性对创造性知识组合的影响应该表现为正向的促进作用。虽然现有研究中分析知识单元和创新行为的研究凤毛麟角,但是,本文的观点仍然能够从关于个体或组织的知识多样性与创新行为的关系的研究中获得理论支撑。比如,以团队为分析单位,Taylor和Greve(2006)^[39]指出,团队成员的知识多样性会增加极端新颖的知识组合产生的概率。Carnabuci和Operti(2013)^[11]分析了半导体企业内部的发明者网络的知识多样性对企业创新行为的影响,结果表明:当发明者的知识多样化程度较高,共性知识的缺乏使得开发式创新的优势不再,从而激发了探索式创新的热情。知识多样性越高,成员创造性知识组合的倾向会随之增加。Srivastava和Gnyawali(2011)^[40]同时研究了企业内部多样性和外部多样性对突破式创新的影响。发现企业内部知识多样性和外部知识多样性存在替代性,但两者均对突破式创新有正向促进作用。Subramanian和Soh(2017)^[7]以联盟为对象的分析也得出了相似的结论。因此,本文提出如下假设:

H₁:知识多样性对发明者创造性知识组合有积极地促进作用。

4. 知识嵌入性与发明者知识组合行为

嵌入性的研究最早可追溯至Polanyi(1957)^[41],并由Granovetter(1985)^[42]对嵌入性概念提出及丰富。现有的关于网络嵌入性的研究多以个人或企业为网络节点,并将网络嵌入性分为关系嵌入性和结构嵌入性两个维度。关系嵌入性是指个人之间或企业之间的信任、依赖关系;而结构嵌入性则衡量的是网络的规模、中心度、密度等。在个人或企业合作网络的研究中,关于网络嵌入性的研究非常丰富。但是,关于知识单元的嵌入性的研究尚未得到足够的重视。Wang等(2014)^[10]的研究对知识网络的结构嵌入性进行了探讨,分析了知识单元的中心度和结构洞指标对发明者行为的影响,并将控制了知识网络密度的影响。从关系嵌入性角度来看,知识网络中的关系嵌入性与个人或企业合作网络有所不同,因为知识单元之间不存在主观的信任关系,节点之间的关系主要表现为连接关系的强弱,这种强弱可以通过知识单元之间的共现频次予以反映。一个知识单元与知识网络中其他知识单元的共现频次越高,关系强度越大,表明该知识单元的关系嵌入性越高。

在社会网络领域的研究中,结构嵌入性和关系嵌入性主要通过影响节点的知识获取进而影响其行为和绩效(刘雪峰等,2015)^[43]。但是,在知识网络中,节点本身即为知识单元,因此,结构和关系嵌入性的影响不是通过知识获取得以传导,而是通过影响建立或打破连接的难易程度,以及知识的价值和知识组合的空间或潜力实现。且在知识网络中,知识单元的结构嵌入性和关系嵌入性的内涵均是通过知识单元之间的连接予以体现。因此,本文将其统称为知识单元的网络嵌入性(或知识嵌入性),并通过知识单元与其他节点的连接关系进行度量。

知识单元网络嵌入性对发明者知识组合行为的影响可以从三方面予以阐述。第一,嵌入性反映了知识单元间连接关系的强弱。连接强度大,意味着打破现有连接的难度较高,发明者在进行知

识组合时的难度较大(曾德明等,2015^[44];Xiao,2015^[14])。另外,连接强度较高意味着该知识单元的使用次数较多,知识的价值会有较大程度的贬值(Kim和Kogut,1996^[45];Fleming,2001^[46])。同时,此时的路径较为成熟,发明者容易陷入路径依赖(谢洪明和吴隆增,2006^[47];谢洪明等,2008^[48];申恩平和廖粲,2011^[49]),不利于发明者进行探索。反之,当知识单元的嵌入性较低时,弱连接有助于创造新颖性,但是此时并没有一个成熟的知识组合路径,组合的不确定性较高。第二,当一个知识单元只能与固定的其他知识进行组合时,知识的专门化程度较高(朱亚萍,2014)^[50]。如果一个知识单元只能与特定的某些知识建立联系,说明其应用集中在某一领域,那么将其应用于新的问题解决情景、建立新的知识组合的难度较大,发明者在进行知识组合时更倾向于在现有组合范围内进行重组(朱亚萍,2014)^[50]。反之,当一个知识单元可以与较多的其他知识单元建立连接关系时,表明该知识单元的专门化程度较低,可延展性较高,那么,探索该知识新的应用比较容易取得成功。但是,当知识的依赖度极低,即该知识单元可以随便与其他知识单元建立连接关系时,发明者反而会由于“信息过载”而陷入迷惑状态(Ahuja和Lampert,2001^[37];朱亚萍,2014^[50];赵云辉,2016^[51])。

从上述分析中可以发现,当知识单元的嵌入性较高时,积极的作用表现在发明可以进行路径学习,降低知识组合过程中的不确定性,消极的作用表现在此时知识的价值往往已有较大幅度贬值,且很难突破“路径依赖”;而当知识单元的嵌入性较低时,积极的影响表现为知识单元的组合有较多的可能性,消极的影响在于缺乏成熟的路径、且可能存在“信息过载”。因此,知识嵌入性对发明者创造性知识组合的影响不是简单的线性,嵌入性过高或过低均不利于创造性知识组合的产生,只有当其处于一个适中的水平时,发明者进行创造性知识组合的可能性才会是最大的(Ahuja和Lampert,2001)^[37]。因此,本文提出如下假设:

H₂:知识嵌入性对发明者创造性知识组合的影响表现为倒U型。

5. 知识多样性的调节作用

知识嵌入性对发明者创造性知识组合的非线性影响会受知识多样性的调节。尽管从知识组合角度分析知识多样性调节作用的研究凤毛麟角。但是,创新领域的其他研究为本文的理论推导提供有力支撑。比如,Dunbar(1997)^[52]分析了科学家的创新行为,结果表明,当科学家之间的依赖关系很强时,异质性的知识可以促使他们采取完全新颖的思维方式(Dunbar,1997)^[52];Katila和Ahuja(2001)^[53]从创新搜索的角度分析了搜索的宽度和深度对企业新产品开发的影响。认为搜索宽度和搜索深度会互相调节彼此对新产品开发数量的影响,这是因为,增加搜索宽度意味着在知识组合中加入新的知识单元,从而提升了新颖的组合产生的机会,同时搜索深度提高意味着对知识的消化和理解更加深刻,吸收能力增强,两者的交互作用会增加知识组合的唯一性;Carnabuci和Operti(2013)^[11]认为,当组织的结构不利于创造性地知识组合时,可以通过增加知识多样性来打破过度依赖现有知识组合解决问题的方式。

知识多样性的调节作用表现在可以调节知识嵌入性影响发明者创造性知识组合的机制。且当知识单元的嵌入性很高时,知识多样性的调节作用尤为明显。这是因为,当知识单元的连接强度很大时,发明者的知识组合活动陷入路径依赖的可能性最高,这时候如果增加知识单元的多样性,可以有效地避免这一陷阱(Ahuja和Lampert,2001)^[37]。因此,本文提出如下假设:

H₃:知识多样性对知识嵌入性和发明者创造性知识组合行为的关系存在正向调节作用。

三、数据来源与研究方法

1. 样本选取与数据收集

为了对假设进行检验,本文搜集了纳米技术领域的专利数据。多领域、多学科知识交叉是纳米

技术的典型特征,非常适用于进行知识组合的相关分析(Alencar等,2007)^[54]。本文检索了1972—2010年间在USPTO申请并获得授权的纳米技术领域的专利数据。检索语句为CCL/977/MYM。977是美国专利商标局为了对纳米技术进行区分而创造的大类号,USPTO专利分类体系是技术功能划分的等级分类体系,977大类还包括了下属424个子类,由一个大类和一个子类共同形成唯一的分类号,每一个分类号即代表一种技术功能,用以表示本文所述的知识单元。1972—2010年在USPTO申请并获得授权的纳米技术领域的专利数据为9328件,样本数据的逐年分布(申请年)如图3所示。美国专利商标局专利体系中第一个纳米技术专利于1972年10月31日提出申请,并于1975年7月29日获得授权。从时间趋势来看,1990年之后纳米专利申请数快速增长。

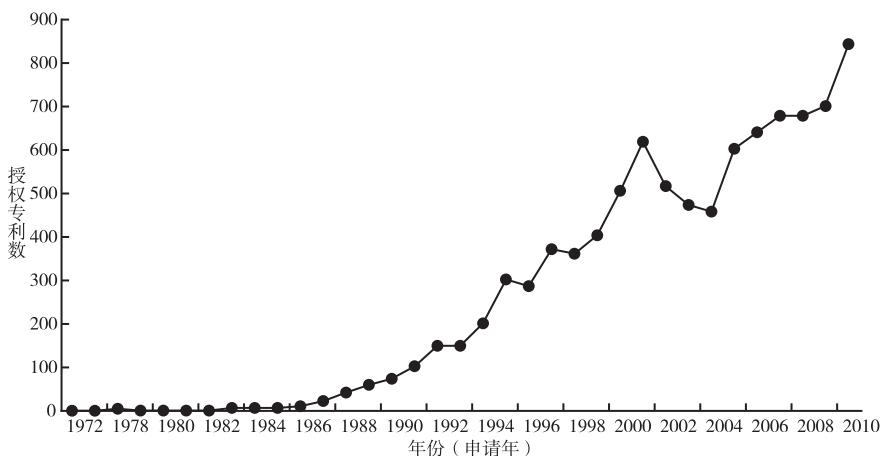


图3 样本数据随时间分布趋势

资料来源:本文绘制

美国专利商标局对专利分类采取的是基于技术的分类规则,一个分类号代表一种技术功能。分类号是专利分类体系中最小的、不可再细分的单位(Fleming,2001^[46];Fleming和Sorenson,2001^[55];Kaplan和Vakili,2015^[12];Strumsky和Lobo,2015^[13];Xiao,2015^[14];Youn等,2015^[56])。通过专利的分类号可以推断该专利是由哪些技术功能和知识单元组合而成。根据表1的统计,样本中专利拥有的最小分类号数为2,即纳米技术至少由两个知识单元组合而成。因此,样本对于本研究是非常合适的。

表1 专利的分类号数分布

分类号数	专利数	比例(%)	累积频率	分类号数	专利数	比例(%)	累积频率
2	441	4.73	4.73	8	792	8.49	70.99
3	951	10.2	14.92	9	599	6.42	77.41
4	1252	13.42	28.34	10	481	5.16	82.57
5	1177	12.62	40.96	11	387	4.15	86.72
6	1085	11.63	52.59	12	262	2.81	89.53
7	924	9.91	62.5	13	212	2.27	91.8

资料来源:本文整理

2. 变量定义及测量

(1)因变量:创造性知识组合行为。在Gilsing和Duysters(2008)^[34]、Phelps(2010)^[33]、Carnabuci和Operti(2013)^[11]、Wang等(2014)^[10]的研究中,均采用专利的分类号是否为首次出现来判断发明者知识组合行为的创造性。但是,他们的度量均以公司而非整个行业为参照系,不能真正反映知识组

合行为的创造性程度。因此,本研究对因变量的度量在他们的基础上做出了修改。根据前文定义,当发明者在进行知识组合时引用或创造了 $t-1$ 时的知识网络中不存在的新的知识单元,那么该知识组合行为为创造性的。因此,创造性知识组合行为的判断通过两步实施:第一步,构造 $t-1$ 时的知识网络。根据时间条件判断专利 l 申请日之前已经存在专利的分类号及分类号的共现关系构造知识网络。第二步,将专利 l 的分类号与 $t-1$ 时的知识网络中的节点进行比较。当专利 l 的分类号存在 $t-1$ 时的知识网络中不存在的分类号,那么认为该发明者的知识组合行为为创造性的,取值为 1;否则取值为 0。

(2)自变量:知识多样性。根据前文定义,知识多样性衡量的是知识单元在知识网络中不同的知识领域(子网络)的分布情况。采取以往研究的通用做法,本文使用 Herfindahl 指数测度知识的多样性(Leten 等,2007^[57];Lin,2011^[26];Subramanian 和 Soh,2017^[7])。知识多样性 DIV_l 表示专利 l 所包含的知识的多样性,根据该专利的所有分类号在不同子网络所占的比例计算:

$$DIV_l = 1 - \sum p_i^2$$

其中, p_i 表示 N 个分类号中属于第 i 个大类的分类号的个数占分类号总数的比例。

知识单元的网络嵌入性(知识嵌入性)。技术发展的过程伴随着知识网络的演化,新产生的知识会作为新的节点进入知识网络,网络中的节点数不断增加,同时,节点之间的连接关系也在形成和改变。随着网络结构的演化,网络中知识单元的特征也在不断变化,从而影响发明者进行知识组合的方式。因此,针对任何一个知识单元,其嵌入性都需要构造知识网络来计算。由于现有研究中尚不存在关于知识单元嵌入性的度量,本文借用 Fleming 和 Sorenson(2001)^[55] 对知识依赖度的测度方法。对专利 l (分类号 k 为 $1, \dots, N$, 申请年为 t), Fleming 和 Sorenson(2001)^[55] 计算知识依赖度的步骤如下:

第一步,计算每一个分类号(知识单元)与其他知识单元进行组合的容易程度 E_k :

$$E_k = \frac{\text{与分类号 } k \text{ 有共现关系的其他分类号的个数}}{\text{申请日早于 } l \text{ 的所有专利中,包含分类号 } k \text{ 的专利的个数}} \quad (1)$$

第二步,计算专利 l 的整体的依赖度 IND_l :

$$IND_l = \frac{N}{\sum_{l \in k} E_k} \quad (2)$$

E_k 越大,表明一个知识单元与其他知识单元进行组合越容易(可以与较多的知识单元进行组合),对特定知识单元的依赖度越小,即关系强度越弱。因此,每个知识单元 k 的依赖度能够反映其与知识网络中其他节点的关系强弱,即对 $t-1$ 时的知识网络的关系嵌入性。而对专利 l 整体的嵌入性,遵从 Fleming 和 Sorenson(2001)^[55] 的逻辑,利用公式(2)进行计算。

但是,在采用 Fleming 和 Sorenson(2001)^[55] 的计算之前,本研究的计算还包括一个知识网络的构造,针对每一个专利 l 都需要构造一个 $t-1$ 时的知识网络。因此,自变量一嵌入性的计算量是非常巨大的,本研究使用 Python 软件通过编程予以实现。

(3)控制变量。遵循现有的研究惯例,本文还控制了其他可能影响发明者知识组合行为的因素。首先,本文控制了联合申请人数的影响。因为,联合申请人数越多,意味着在知识组合过程中的资源和知识越丰富,从而会影响知识组合的倾向(Fleming,2001^[46];Xiao,2015^[14])。类似地,当发明者个数越多时,意味着智力资源越丰富,有利于新颖组合的产生(Singh 和 Fleming,2010)^[58]。Xiao(2015)^[14] 认为,在考虑了知识多样性的影响的同时不应忽视知识单元个数(即分类号数)的影响。与知识单元个数不同,知识多样性侧重于度量知识的分布和差异化程度。知识单元个数多并不意味着知识多样性高。如表 2 所示,两个专利分类号数均为 9,但是,专利 US6031970A 的知识来源更为集中,知识多样性低。此外,知识单元数对新颖性的影响也有不可忽略的理论意义

(Rosenkopf 和 Nerkar, 2001)^[59]。知识单元数越多,可利用的知识规模越大,越有利于知识组合的产生。除此以外,本文还控制了专利的后向引用数,后向引用数反映了专利产生时其所在的领域的技术成熟度。后向引用数越多,表明该领域的技术越成熟,那么产生新颖的知识组合的可能性就会降低,反之亦然(Sørensen 和 Stuart, 2000^[60]; Lanjouw 和 Schankerman, 2003^[61]; Agarwal 和 Hoetker, 2007^[62])。

表 2 知识多样性计算示例

专利号	分类号	分类号在不同大类的分布	知识多样性
US6031970A	392407 219553 250504R 977833 977891 977900 977901 977949 977954	392(1), 219(1), 250(1), 977(6)	0.519
US6033624A	419048 075343 075351 075362 419013 419019 419023 977776 977777	419(4), 075(3), 977(2)	0.642

资料来源:本文整理

四、实证结果与分析

1. 描述性统计

模型中所涉及的变量的描述性统计结果如表 3 所示。因变量为二值变量,创造性知识组合为 1,否则为 0。从相关系数矩阵来看,各自变量与因变量的相关系数及方向基本符合预期,且自变量之间的相关系数较小。同时,根据 Aiken 等(1991)^[63]、Cohen 等(2013)^[64]以及 Hayes(2013)^[65]的建议,在涉及调节作用的模型中,为了使回归方程的系数更具有解释意义,对模型中的自变量和控制变量进行中心化处理,交互项由中心化之后的变量的乘积生成。

表 3 变量的相关关系矩阵

变量	均值	最小值	最大值	1	2	3	4	5	6	7
1. 创造性知识组合	0.516	0	1	1						
2. 联合申请者数	1.431	1	15	-0.073	1					
3. 发明人数	3.121	1	16	-0.046	0.225	1				
4. 知识单元个数	7.312	2	60	0.315	-0.033	0.007	1			
5. 后向引用数	16.639	0	519	-0.044	0.103	0.072	-0.025	1		
6. 知识多样性	0.559	0.040	0.893	0.099	-0.004	-0.012	0.217	-0.022	1	
7. 知识嵌入性	0.396	0.004	22	0.132	-0.068	-0.052	-0.047	-0.057	-0.037	1

资料来源:本文整理

2. Probit 模型估计

由于因变量为二值变量,同时考虑到 Probit 模型估计更准确,本文使用 Probit 模型进行估计。估计结果如表 4 所示。模型(1)主要分析了控制变量对发明者知识组合行为的影响。模型 2 加入了知识多样性,从 probit 估计结果来看,知识多样性的系数为正,表明知识多样性对发明者创造性知识组合的影响显著为正,对本文的假设 H₁ 予以支持。模型(3)和模型(4)检验了知识单元的网络嵌入性对发明者创造性知识组合行为的影响,结果表明,知识单元的网络嵌入性对发明者创造性知识组合的影响表现为显著的倒 U 型,假设 H₂ 得到支持。模型 5 引入了知识多样性和嵌入性的交互项,Probit 回归结果表明,交互项的系数为正,但是 p 值大于 0.1(p = 0.185),假设 H₃ 部分得到支持。此外,模型(1)~模型(5)的总体 p 值均小于 0.05,表明模型整体是显著的。

表 4 Probit 回归分析结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
联合申请者数	-0.0562*** (0.0114)	-0.0565*** (0.0114)	-0.0346*** (0.0115)	-0.0333*** (0.0115)	-0.0332*** (0.0115)
发明者个数	-0.0260*** (0.00735)	-0.0258*** (0.00736)	-0.0219*** (0.00745)	-0.0219*** (0.00745)	-0.0219*** (0.00745)
分类号数	0.113*** (0.00377)	0.112*** (0.00386)	0.131*** (0.00412)	0.132*** (0.00415)	0.132*** (0.00417)
后向引用数	-0.000795*** (0.000304)	-0.000786*** (0.000304)	-0.000401 (0.000306)	-0.000393 (0.000306)	-0.000391 (0.000306)
知识多样性		0.204** (0.102)	0.361*** (0.104)	0.369*** (0.104)	0.410*** (0.109)
知识嵌入性			0.590*** (0.0344)	0.650*** (0.0381)	0.669*** (0.0415)
知识嵌入性 ²				-0.0305*** (0.00581)	-0.0319*** (0.00674)
知识多样性 × 知识嵌入性					0.295 (0.223)
常数项	0.0667*** (0.0136)	0.0665*** (0.0136)	0.119*** (0.0146)	0.132*** (0.0150)	0.137*** (0.0155)
LR 统计量	1149.69***	1153.71***	1626.18***	1630.12***	1631.85***

注: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

资料来源:本文整理

由于 Probit 模型的系数不具有解释意义(陈强,2010)^[66],本文进一步考察了各变量的边际效应(如表 5 所示)。从边际效应分析结果可知,知识多样性增加一个单位,发明者的创新行为为创造性知识组合的可能性增加 0.14%;知识嵌入性的变动的的影响则要复杂一些。

表 5 各变量的边际效应分析

变量	dy/dx	Std. Err.	z 值	$p > z $	95% 置信区间	
联合申请者数	-0.0115	0.0039	-2.90	0.004	-0.019	-0.004
发明者个数	-0.0076	0.0026	-2.94	0.003	-0.013	-0.003
分类号数	0.0460	0.0012	37.86	0.000	0.044	0.048
后向引用数	-0.0001	0.0001	-1.28	0.201	-0.0003	-0.0007
知识多样性	0.1424	0.0377	3.78	0.000	0.068	0.216
知识嵌入性	0.2320	0.0139	16.77	0.000	0.205	0.259
知识嵌入性 ²	-0.0110	0.0023	-4.75	0.000	-0.016	-0.007
交互项	0.1024	0.0772	1.33	0.185	-0.049	0.254

资料来源:本文整理

为了进一步反映自变量和因变量的关系,本文利用 STATA 软件的 Surface 命令,将知识多样性、知识嵌入性和发明者知识组合行为三者的关系以三维图的形式展现出来,如图 4 所示。从图 4

中可以看出,知识嵌入性与创造性知识组合行为的关系始终表现为倒U型,知识多样性对创造性知识组合行为的影响整体表现为正向。且在不同的知识多样性水平,知识依赖度的倒U型曲线有所差异;随着知识多样性的增加,倒U型曲线会上移。

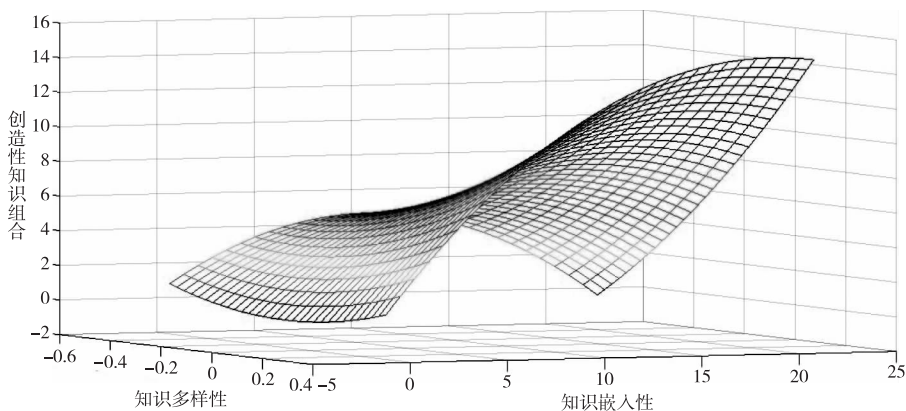


图4 自变量和因变量关系

资料来源:本文绘制

五、结论与启示

1. 研究结论

本文以发明活动为研究对象,从知识组合理论视角解析了发明过程中知识单元作用的规律。以知识单元为节点、知识单元的共现关系为连接,构造了知识网络,分析了知识网络中知识单元的特征对发明者知识组合行为的影响。本文搜集了1972—2010年在USPTO申请并获得授权的纳米技术专利数据,对知识单元的结构特征和发明者知识组合行为之间的关系进行检验。实证分析结果表明:

第一,知识多样性对发明者的创造性知识组合行为有显著的正向影响。这一结果与本文的假设预期一致,同时与已有文献中关于知识多样性和创新行为倾向的关系研究的结论一致(Taylor和Greve,2006^[39];Carnabuci和Operti,2013^[11])。结论表明,知识多样性越高,即知识单元跨越的知识领域越宽,那么由此产生的组合更可能是创造性的知识组合,即发明者越可能从这些单元的知识组合中创造新的知识。反之,当知识多样性越低,即知识单元集中在特定的领域,那么知识的冗余度较高,知识组合行为倾向于本地化地、利用式的知识组合行为。

第二,知识嵌入性对发明者创造性知识组合行为的影响表现为先促进,后抑制。虽然微观层面相关的研究不多,但是,本文的研究结论与以个体或组织为节点构造的社会网络的研究结果一致,即节点的连接强度对探索式创新的影响通常表现为倒U型(McFadyen等,2009)^[2]。同时,关于知识专门化的研究也对知识嵌入性和创造性知识组合的关系提供支撑(Scott等,2011^[67];朱亚萍,2014^[50];曾德明和周涛,2015^[5])。因此,从理论和实证分析结果来看,只有当网络中知识单元的嵌入性处于一个适中的水平时,发明者创造性知识组合的可能性才会最大。

第三,知识多样性的调节作用没有通过假设检验。但是,实证分析结果表明,知识多样性的调节作用表现为正向。结合自变量和因变量关系的示意图可知,随着知识多样性水平的增加,知识嵌入性与创造性知识组合的倒U型曲线的顶点有所上移。且当知识多样性水平很高时,倒U型曲线的后半段(即下降部分)已经非常不明显。由此可以判断,当知识单元的网络嵌入性较高时,可以通过远距离知识搜索增加知识单元的多样性,避免陷入路径依赖陷阱,从而提升创造性知识组合的

可能性。

2. 研究贡献和启示

本文以知识单元为研究对象,分析了创新过程的微观机制。本研究具有以下重要贡献。

第一,丰富了现有的创新研究和知识管理理论。从 Schumpeter 开始,创新研究经历了长足的发展。知识基础观的学者对知识在整个创新活动中的影响进行了充分的研究,但是,现有研究鲜有从知识单元的层次入手。同时,本文创新性地引入社会网络分析的思想,通过搭建知识网络构造知识单元的特征并进一步分析其对知识组合的影响。通过多理论交叉、融合,为揭示创新过程中的知识活动提供了重要的理论支撑。因此,本文对现有的创新理论和知识管理理论具有重要的补充作用。

第二,为企业、个人的创新管理提供实践指导。虽然创新研究的学者普遍认为创新的过程是不确定、高风险的过程(Fleming,2001)^[46],但是这一过程本质上是遵循特定的知识组合规律的,这一规律受知识单元在知识网络中的特征影响和制约。因此,个人或企业可以通过分析所在领域知识单元组合的路径,从而探寻技术发展的规律,以提高研发成功率。

本文最重要的启示在于:首先技术进步是有迹可循的,这种“轨迹”可以通过分析知识单元的组合规律予以刻画。对于发明者而言,可以根据现有的专利数据构造该领域的知识网络,并根据专利分类号的共现关系识别可能的知识单元之间的组合。同时,通过构造知识网络发明者可以习得知识组合的路径,降低发明过程的风险和不确定性。其次,企业在进行创新管理时,可以遵循同样的思路,制定技术开发的方向,提高研究开发的成功率、降低风险。此外,当企业作为一个专利购买者,可以通过分析知识单元的特征,预测技术的价值。总之,通过本文的分析,能够为企业应对高速变化的技术环境提供指导和参考。

参考文献

- [1] Gruer, M. , D. Harhoff, and K. Hoisl, Knowledge Recombination Across Technological Boundaries: Scientists vs. Engineers [J]. *Management Science*, 2013, 59, (4): 837 - 851.
- [2] Mcfadyen, M. A. , M. Semadeni, and A. A. Cannella, Value of Strong Ties to Disconnected Others: Examining Knowledge Creation in Biomedicine [J]. *Organization Science*, 2009, 20, (3): 552 - 564.
- [3] Shu, C. , A. L. Page, S. Gao, and X. Jiang, Managerial Ties and Firm Innovation: Is Knowledge Creation a Missing Link? [J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2012, 29, (1): 125 - 143.
- [4] Paruchuri, S. , and M. Eisenman, Microfoundations of Firm R&D Capabilities: A Study of Inventor Networks in a Merger [J]. *Journal of Management Studies*, 2012, 49, (8): 1509 - 1535.
- [5] 曾德明,周涛. 企业知识基础结构与技术创新绩效关系研究——知识元素间关系维度新视角 [J]. *天津:科学学与科学技术管理*, 2015, (10): 80 - 88.
- [6] Phelps, C. , R. Heidl, and A. Wadhwa, Knowledge, Networks, and Knowledge Networks: A Review and Research Agenda [J]. *Journal of Management*, 2012, 38, (4): 1115 - 1166.
- [7] Subramanian, A. M. , and P. H. Soh, Linking alliance portfolios to recombinant innovation: The combined effects of diversity and alliance experience [J]. *Long Range Planning*, 2017, 50, (5): 636 - 652.
- [8] 汪涛,任瑞芳,曾刚. 知识网络结构特征及其对知识流动的影响 [J]. *天津:科学学与科学技术管理*, 2010, (5): 150 - 155.
- [9] 高继平,丁堃,潘云涛,袁军鹏. 国内外知识网络研究现状分析 [J]. *北京:情报理论与实践*, 2015, (9): 120 - 125.
- [10] Wang, C. , S. Rodan, M. Fruin, and X. Xu, Knowledge Networks, Collaboration Networks, and Exploratory Innovation [J]. *Academy of Management Journal*, 2014, 57, (2): 454 - 514.
- [11] Carnabuci, G. , and E. Operti, Where do Firms' Recombinant Capabilities Come From? Intraorganizational Networks, Knowledge, and Firms' Ability to Innovate through Technological Recombination [J]. *Strategic Management Journal*, 2013, 34, (13): 1591 - 1613.
- [12] Kaplan, S. , and K. Vakili, The Double-edged Sword of Recombination in Breakthrough Innovation [J]. *Strategic Management Journal*, 2015, 36, (10): 1435 - 1457.
- [13] Strumsky, D. , and J. Lobo, Identifying the Sources of Technological Novelty in the Process of Invention [J]. *Research Policy*, 2015,

44, (8) : 1445 – 1461.

[14] Xiao, T. Highlighting the Role of Knowledge Linkages in Knowledge Recombination [D]. Ohio: The Ohio State University, 2015.

[15] Tiwana, A. Do Bridging Ties Complement Strong Ties? An Empirical Examination of Alliance Ambidexterity [J]. *Strategic Management Journal*, 2008, 29, (3) : 251 – 272.

[16] Kogut, B., and U. Zander, Knowledge of the Firm, Combinative Capabilities, and the Replication of Technology [J]. *Organization Science*, 1992, 3, (3) : 383 – 397.

[17] Grant, R. M. Toward a Knowledge-based Theory of the Firm [J]. *Strategic Management Journal*, 1996, 17, (S2) : 109 – 122.

[18] 周宁, 余肖生, 刘玮, 张芳芳. 基于 XML 平台的知识元表示与抽取研究 [J]. *北京: 中国图书馆学报*, 2006, (3) : 41 – 45.

[19] 赵蓉英. 论知识网络的结构 [J]. *北京: 图书情报工作*, 2007, (9) : 6 – 10.

[20] Strumsky, D., J. Lobo, and S. V. Leeuw, Using Patent Technology Codes to Study Technological Change [J]. *Economics of Innovation and New Technology*, 2012, 21, (3) : 267 – 286.

[21] Park, J. J., and G. Sharma, Religion and Social Capital: Examining the Roles of Religious Affiliation and Salience on Parental Network Closure [J]. *Religion & Education*, 2016, 43, (2) : 162 – 177.

[22] Galunic, D. C., and S. Rodan, Resource Recombinations in the Firm: Knowledge Structures and the Potential for Schumpeterian Innovation [J]. *Strategic Management Journal*, 1998, 19, (12) : 1193 – 1201.

[23] Nystrom, P. C. Managing Diversity and Interdependence: An Organizational Study of Multidivisional Firms [J]. *ILR Review*, 1976, 29, (4) : 628 – 630.

[24] Van den Bergh, J. C. Optimal Diversity: Increasing Returns Versus Recombinant Innovation [J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2008, 68, (3) : 565 – 580.

[25] Fernandez-Ribas, A., and P. Shapira, Technological Diversity, Scientific Excellence and the Location of Inventive Activities Abroad: The Case of Nanotechnology [J]. *Journal of Technology Transfer*, 2009, 34, (3) : 286 – 303.

[26] Lin, B. W. Knowledge Diversity as a Moderator: Inter-firm Relationships, R&D Investment and Absorptive Capacity [J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2011, 23, (3) : 331 – 343.

[27] Pandza, K., T. A. Wilkins, and E. A. Alfoldi, Collaborative Diversity in a Nanotechnology Innovation System: Evidence from the EU Framework Programme [J]. *Technovation*, 2011, 31, (9) : 476 – 489.

[28] Terjesen, S., P. C. Patel, and J. G. Covin, Alliance Diversity, Environmental Context and the Value of Manufacturing Capabilities among New High Technology Ventures [J]. *Journal of Operations Management*, 2011, 29, (1/2) : 105 – 115.

[29] Henderson, R. R., and K. B. Clark, Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms [J]. *Administrative Science Quarterly*, 1990, 35, (1) : 9 – 30.

[30] March, J. G. Exploration and Exploitation in Organizational Learning [J]. *Organization Science*, 1991, 2, (1) : 71 – 87.

[31] Benner, M. J., and M. L. Tushman, Exploitation, Exploration, and Process Management: The Productivity Dilemma Revisited [J]. *The Academy of Management Review*, 2003, 28, (2) : 238 – 256.

[32] Schoenmakers, W., and G. Duysters, The Technological Origins of Radical Inventions [J]. *Research Policy*, 2010, 39, (8) : 1051 – 1059.

[33] Phelps, C. C. A Longitudinal Study of the Influence of Alliance Network Structure and Composition on Firm Exploratory Innovation [J]. *Academy of Management Journal*, 2010, 53, (4) : 890 – 913.

[34] Gilsing, V. A., and G. M. Duysters, Understanding Novelty Creation in Exploration Networks—Structural and Relational Embeddedness Jointly Considered [J]. *Technovation*, 2008, 28, (10) : 693 – 708.

[35] Grant, R. M. Prospering in Dynamically-Competitive Environments: Organizational Capability as Knowledge Integration [J]. *Organization Science*, 1996, 7, (4) : 375 – 387.

[36] Grebel, T. On the Tradeoff Between Similarity and Diversity in the Creation of Novelty in Basic Science [J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2013, (27) : 66 – 78.

[37] Ahuja, G., and C. M. Lampert, Entrepreneurship in the Large Corporation: A Longitudinal Study of How Established Firms Create Breakthrough Inventions [J]. *Strategic Management Journal*, 2001, 22, (6 – 7) : 521 – 543.

[38] Phene, A., K. Fladmoe-Lindquist, and L. Marsh, Breakthrough Innovations in the US Biotechnology Industry: The Effects of Technological Space and Geographic Origin [J]. *Strategic Management Journal*, 2006, 27, (4) : 369 – 388.

[39] Taylor, A., and H. R. Greve, Superman or the Fantastic Four? Knowledge Combination and Experience in Innovative Teams [J]. *The Academy of Management Journal*, 2006, 49, (4) : 723 – 740.

[40] Srivastava, M. K., and D. R. Gnyawali, When Do Relational Resources Matter? Leveraging Portfolio Technological Resources for

Breakthrough Innovation[J]. *Academy of Management Journal*,2011,54,(4):797-810.

[41] Polanyi,K. *The Great Transformation: The Political and Economic Origins of Our Time* [M]. Boston: Beacon Press,1957.

[42] Granovetter,M. *Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness* [J]. *American Journal of Sociology*,1985,91,(3):481-510.

[43] 刘雪锋,徐芳宁,揭上锋. 网络嵌入性与知识获取及企业创新能力关系研究[J]. *北京: 经济管理*,2015,(3):150-159.

[44] 曾德明,张丹丹,文金艳. 基于专利合作的网络技术多样性对探索式创新的影响研究——网络结构的调节作用[J]. *西安: 情报杂志*,2015,(2):104-110.

[45] Kim,D.-J., and B. Kogut, *Technological Platforms and Diversification* [J]. *Organization Science*,1996,7,(3):283-301.

[46] Fleming,L. *Recombinant Uncertainty in Technological Search* [J]. *Management Science*,2001,47,(1):117-132.

[47] 谢洪明,吴隆增. 技术知识特性、知识整合能力和效果的关系——一个新的理论框架[J]. *呼和浩特: 科学管理研究*,2006,(2):55-59.

[48] 谢洪明,葛志良,王琪. 基于技术知识特性与知识整合的企业技术创新研究[J]. *广州: 华南理工大学学报(社会科学版)*,2008,(6):63-68.

[49] 申恩平,廖繁. 技术知识特性对企业技术创新的影响研究——基于知识整合的观点[J]. *西安: 新西部(理论版)*,2011,(12):63-64.

[50] 朱亚萍. 企业知识专门化与探索式创新绩效: 研发网络知识整合的悖论[J]. *宁波大学学报(人文版)*,2014,(2):102-107.

[51] 赵云辉. 知识多样性对跨国公司知识转移绩效的影响研究——知识一致性的调节效应[J]. *太原: 技术经济与管理研究*,2016,(9):10-14.

[52] Dunbar,K. *How Scientists Think: Online Creativity and Conceptual Change in Science* [A]. Dunbar,K.,T. B. Ward,S. M. Smith, and S. David, *Conceptual Structures and Processes: Emergence, Discovery and Change* [C]. Washington DC: APA Press,1997.

[53] Katila,R., and G. Ahuja, *Something Old, Something New: A Longitudinal Study of Search Behavior and New Product Introduction* [J]. *Academy of Management Journal*,2002,45,(6):1183-1194.

[54] Alencar,M. S., A. L. Porter, and A. M. S. Antunes, *Nanopatenting Patterns in Relation to Product Life Cycle* [J]. *Technological Forecasting and Social Change*,2007,74,(9):1661-1680.

[55] Fleming,L., and O. Sorenson, *Technology as a Complex Adaptive System: Evidence from Patent Data* [J]. *Research Policy*,2001,30,(7):1019-1039.

[56] Youn,H., D. Strumsky, and L. M. A. Bettencourt. *Invention as a Combinatorial Process: Evidence from US Patents* [J]. *Journal of The Royal Society Interface*,2015,12,(106):1-8.

[57] Leten,B., R. Belderbos, and B. Van Looy, *Technological Diversification, Coherence, and Performance of Firms* [J]. *Journal of Product Innovation Management*,2007,24,(6):567-579.

[58] Singh,J., and L. Fleming, *Lone Inventors as Sources of Breakthroughs: Myth or Reality?* [J]. *Social Science Electronic Publishing*,2010,56,(1):41-56.

[59] Rosenkopf,L., and A. Nerkar, *Beyond Local Search: Boundary-Spanning, Exploration, and Impact in the Optical Disk Industry* [J]. *Strategic Management Journal*,2001,22,(4):287-306.

[60] Sørensen,J. B., and T. E. Stuart, *Aging, Obsolescence, and Organizational Innovation* [J]. *Administrative Science Quarterly*,2000,45,(1):81-112.

[61] Lanjouw,J. O., and M. Schankerman, *Enforcement of Patent Rights in the United States* [J]. *Polymer Science U. S. S. R.*,2003,24,(1):59-66.

[62] Agarwal,R., and G. Hoetker, *A Faustian Bargain? The Growth of Management and Its Relationship with Related Disciplines* [J]. *The Academy of Management Journal*,2007,50,(6):1304-1322.

[63] Aiken,L. S., S. G. West, and R. R. Reno, *Multiple Regression: Testing and Interpreting Interactions* [M]. London: SAGE,1991.

[64] Cohen,J., P. Cohen, and S. G. West, *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences* [M]. London: Routledge,2013.

[65] Hayes,A. F. *Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis: A Regression-Based Approach* [M]. New York: Guilford Press,2013.

[66] 陈强. *高级计量经济学及 Stata 应用* [M]. 北京: 高等教育出版社,2010.

[67] Scott,J., and P. J. Carrington, *Sage Handbook of Social Network Analysis* [M]. London: SAGE,2011.

The Characteristics of Knowledge Components and Its Effect on Inventors' Knowledge Combination Behavior : From the Knowledge Network Perspective

WANG Ping-ping¹, WANG Yi²

(1. Institute of Defense Economics and Management, Central University of Finance and Economics, Beijing, 100081, China;

2. School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing, 100084, China)

Abstract: As one of the most important research areas of technological innovation, the process and performance of inventions have been widely discussed in innovation research area. According to knowledge combination theory, an invention can be regarded as a set of reciprocally connected knowledge components and the generation of invention is the process of combining previously unconnected knowledge components or recombining connected knowledge components in different ways.

Inventors, who are the actors of inventive activities, have been widely discussed in literature. Extant research has mainly discussed the impact of demographic characteristics of inventors and the external environment on their behavior or performance. For example, some studies have examined the relationship between inventors' education background and their explorative innovation performance. However, one assumption is implied in these studies that different inventive activities conducted by one person were homogeneous, and the dependent variable was measured according to all inventive activities at certain time window. Furthermore, some scholars explained the difference among inventors' performance from social network perspective. Social network analysis actually explores the impact of external environment in which one embedded on individual's behavior and performance. Two types of network have been discussed, that is network consisting of individuals and network consisting of collectives of individual (such as teams, organizational subunits, organizations, or even nation-states). In fact, the network in which the nodes represent the knowledge components is substantial in shaping inventors' knowledge combination behavior but has been neglected.

The nodes of knowledge network are knowledge components and the lines reflect the linkage or co-list relation between them. Inventors need to search necessary knowledge elements from the knowledge network, and then combine or recombine them to create inventions. If the searched knowledge components have been connected before, the inventors have no choice but to recombine them in different ways, for example, add new components into the existed combination. In other words, the characteristics of knowledge components which is shaped by the knowledge networks at time $t-1$ constrain the potential of further combination. Thus, it is deduced that characteristics of knowledge components shaped by knowledge network may be used to explain the varied performance of different activities conducted by the same person.

Drawing upon knowledge combination theory and social network theory, two independent variables, knowledge diversity and network embeddedness of knowledge components, are identified in this research. Knowledge diversity measures the technological variety of a set of knowledge components which are to be combined. The mechanism through which knowledge diversity has impact on inventors' knowledge combination behavior is that knowledge diversity provides the potential of novel combination. And network embeddedness influences the ease of further combination and realization of potentials. It is proposed that these two independent variables separately and jointly affect inventors' creative knowledge combination. A single combination activity is the unit of analysis and patent data in nanotechnology filed is collected to examine the theoretical model. Probit estimator is employed and the empirical result indicates that knowledge diversity is positively related to inventors' creative knowledge combination, and embeddedness have nonlinear (Inverted-U shaped) effect on inventors' creative knowledge combination. Furthermore, the interaction between knowledge diversity and network embeddedness has positive but non-significant effect on the dependent variables.

This research opens the black box of the process of invention at micro-level and makes great contribution to extant innovation theory. The results have important implications for inventors or organizations. Inventors can predict the value of possible combinations by analyzing the characteristics of knowledge components, which can reduce the risk and uncertainty of invention process. Organizations can also manage their research and development activities by adopting the same method.

Key Words: knowledge component; knowledge combination; knowledge network

JEL Classification: O30, O31, O32

DOI: 10.19616/j.cnki.bmj.2018.05.006

(责任编辑:文 川)