



# 网络闭合、知识基础与创新催化： 动态结构洞的调节

魏 龙, 党兴华

西安理工大学 经济与管理学院, 西安 710054

**摘要:** 随着经济进入新常态, 技术创新网络逐渐进化成为不同类型创新角色相互协作构成的创新生态系统。创新催化作为网络中创新产生的关键过程, 目前研究将知识派系作为创新催化的支撑条件, 然而鲜有考虑知识派系中网络闭合和知识基础双重属性的微观构成及其作用悖论, 忽略了支撑条件与创新催化之间的协同演化关系, 进一步破解技术创新网络的创新催化机制成为有待厘清的重要理论问题。

基于悖论整合视角, 分析开放式和封闭式网络闭合、专业化和多样化知识基础、结构洞生成和填充的创新悖论, 通过网络闭合和知识基础的交互匹配, 探讨开放式专业化、开放式多样化、封闭式专业化和封闭式多样化4种网络配置组合对创新催化的差异性影响以及结构洞生成和填充的调节作用。结合战略联盟数据库SDC Platinum和专利数据库UPSTO, 以嵌入在高科技行业合作网络中的中国企业为样本, 利用社会网络和多元回归分析方法进行实证检验。

研究表明, 网络闭合、知识基础与动态结构洞的多维匹配是实现创新催化的最小功能集; 开放式网络情景下, 组织嵌入在开放式专业化网络具有显著的创新催化作用, 而开放式多样化网络存在信息过载的风险; 封闭式网络情景下, 组织嵌入在封闭式多样化网络具有显著的创新催化作用, 而封闭式专业化网络存在过度嵌入的缺陷; 结构洞生成和结构洞填充强化了开放式多样化和封闭式专业化网络的创新催化效能, 抑制了开放式专业化和封闭式多样化网络对创新催化的促进作用; 动态结构洞的调节效应存在时效差异, 结构洞生成的促进作用能够在较长一段时间内持续, 结构洞填充的调节效应随时间增加而逐渐减弱。

研究结论有助于揭示技术创新网络的创新催化过程, 识别创新催化的最优网络配置以及效能发挥的情景依赖性, 对提升网络组织的创新能力、构建中国情景下的创新生态系统具有重要实践指导意义。

**关键词:** 技术创新网络; 创新催化; 网络闭合; 知识基础; 动态结构洞

**中图分类号:** F273.1

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1672-0334.2017.03.008

**文章编号:** 1672-0334(2017)03-0083-14

## 引言

随着知识经济时代的到来, 技术创新过程成为一种网络化过程<sup>[1-2]</sup>。技术创新网络作为多主体合作的复杂网络, 其本质是不同类型创新角色相互协作构成的创新生态系统<sup>[3-4]</sup>。已有研究表明网络中

成员扮演的角色存在差异, 但是大多研究集中于主导的创新者角色<sup>[5-7]</sup>, 忽略了创新支持者角色在激发伙伴活力、提升创造力中的辅助作用。因此, 有必要对其催化创新的作用过程进行研究。

创新催化作为创新产生的关键过程, 最早由

**收稿日期:** 2016-11-10 **修返日期:** 2017-04-16

**基金项目:** 国家自然科学基金(71372171, 71572146, 71502090)

**作者简介:** 魏龙, 西安理工大学经济与管理学院博士研究生, 研究方向为技术创新管理和复杂网络等, 代表性学术成果为“惯例复制行为对技术创新网络演化的影响研究”, 发表在2017年第1期《科学学研究》, E-mail: 15446655@qq.com

党兴华, 管理学博士, 西安理工大学经济与管理学院教授, 研究方向为网络组织治理和技术创新管理等, 代表性学术成果为“不同信任情景下二元创新对网络惯例的影响”, 发表在2013年第4期《管理科学》, E-mail: gsg1005@sina.com

MARTIN<sup>[8]</sup>提出的, TORTORIELLO et al.<sup>[9]</sup>首次注意到网络中的创新催化现象, 将其定义为支持其他网络成员开展创新, 实现催化剂角色的程度。已有研究仅从静态单一的多样化知识派系出发, 验证创新催化产生的支撑条件, 不仅需要知识基础的存量积累和流量更新实现竞争优势的资源摄入<sup>[10-12]</sup>, 而且依赖于网络闭合结构建立知识共享的意识和意愿<sup>[13-15]</sup>。然而已有研究忽略了创新催化中开放式和封闭式网络闭合、专业化和多样化知识基础的微观构成及其作用悖论, 缺乏二维划分下网络闭合与知识基础联合作用的互补替代作用分析; 同时忽视了动态结构洞的纽带作用, 结构洞生成和填充作为不可或缺的情景要素, 不仅推动了网络紧密性和稀疏性变化, 而且影响组织汲取知识基础的动态分布, 促使创新催化效能随之发生动态变化。基于上述分析, 为了弥补已有研究不足, 本研究探讨网络闭合与知识基础的组合匹配对创新催化的差异化影响以及结构洞生成和填充的调节作用, 揭示技术创新网络的创新催化机制, 构建创新的网络生态系统。

## 1 相关研究评述

创新催化的产生需要多样化、意识和意愿3种支持条件的共同作用, 即获得多样化的外部知识, 意识到成员的知识需求, 具有知识分享的意愿<sup>[9]</sup>。根据 TORTORIELLO et al.<sup>[9]</sup>的观点, 网络闭合是实现创新催化的先决条件, 其根源性影响在于促进成员间形成共同的知识基础以及成员识别特定知识需求的意识<sup>[16-18]</sup>。然而, 已有研究仅强调单一紧密网络的创新优势, 忽略了闭合特性差异诱发的开放式和封闭式网络创新悖论<sup>[19-20]</sup>。一方面, 以 BURT<sup>[21]</sup>为代表的学者认为开放式结构获取了非冗余信息和多样化的选择机会, 具有整合仲裁收益的控制优势, 但是存在信任缺失和重组效率降低的风险<sup>[22]</sup>。另一方面, 以 COLEMAN<sup>[23]</sup>为代表的学者认为封闭式结构能够抑制机会主义行为, 具有增加传播渠道、缓解认知压力的优势, 但是存在认知锁定的惰性风险<sup>[3, 24]</sup>。基于以上分析, 开放式网络和封闭式网络各有利弊, 封闭式网络对冗余信息的认知利用优势是开放式网络所缺乏的, 开放网络中非冗余信息的多样性优势是封闭式网络所不具备的。因此, 探讨开放式和封闭式网络闭合对创新催化的差异化影响, 权变性发挥闭合结构的创新优势, 有利于厘清创新催化的选择偏好。

创新催化不仅受到组织所嵌入的网络结构的影响, 而且取决于成员知识基础的外部支撑<sup>[25-26]</sup>。REAGANS et al.<sup>[10]</sup>认为知识来源的外部压力能够迫使内部成员的知识基础由均匀向不均匀分布转化; MAJCHRZAK et al.<sup>[27]</sup>认为外部知识的内化吸收是合作网络创新产生的重要输入过程。然而已有研究仅强调多样化知识的创新优势, 忽略了成员知识探索范围和方向的差异以及其诱发的知识专业化和多样化创新悖论<sup>[28]</sup>。一方面, 知识专业化作用下, 组织聚焦于特定的知识领域, 倾向于采取技术相似性的

本地搜寻策略<sup>[4]</sup>, 易于形成路径依赖, 导致组织惯性抑制探索式学习, 陷入技术知识的能力陷阱<sup>[29]</sup>。另一方面, 知识多样化作用下, 由于技术分散性, 组织倾向于采取远程搜寻策略<sup>[4, 30]</sup>, 但是技术范围过广会导致整合成本和不确定性风险增加, 成为创新发展的桎梏<sup>[31-32]</sup>。基于以上分析, 知识专业化和知识多样化各有利弊, 知识多样化能够克服知识专业化的能力陷阱, 而知识专业化能够规避知识多样化的不确定性风险。因此, 同时考虑二维划分下的知识基础, 厘清知识专业化和知识多样化对创新催化影响机制的差异性, 发挥知识基础的互补优势, 有利于拓展创新催化的支撑条件。

结构洞作为网络演化的动力因素, 其动态变化驱动了网络闭合与知识基础的动态更新<sup>[13, 33]</sup>。动态结构洞与网络闭合之间, YIN et al.<sup>[34]</sup>认为结构洞作用下冗余与非冗余关系的构建和断裂会导致自中心网络连通性的变化; TATARYNOWICZ et al.<sup>[1]</sup>认为紧密和稀疏网络需求能够通过结构洞的微观变化展现。动态结构洞与知识基础之间, TORTORIELLO<sup>[14]</sup>认为结构洞变化依赖于成员获取的内外部知识, 受技术非对称分布的影响, 成员会自适应开展网络编织行为, 促使结构洞的涌现和衰退; QUINTANE et al.<sup>[35]</sup>认为占据结构洞的经纪人角色会依据成员知识需求, 形成临时结构洞开展“渔翁得利”或“协调促进”策略。然而动态结构洞包括产生和维持的生成过程、衰退和消失的填充过程<sup>[35-36]</sup>, 结构洞生成强调的是连接到两个互不相连的改变者形成稀疏的跨越结构洞形态<sup>[20]</sup>, 结构洞填充强调的是连接到两个相连的改变者形成紧密三元闭包的结构洞消失机制<sup>[37]</sup>。基于以上分析, 结构洞生成和填充过程相反, 不仅推动了网络紧密和稀疏性的变化, 而且影响组织汲取的知识基础, 通过不同路径强化了网络闭合与知识基础的动态分布, 导致对创新催化的联合效能发生动态变化。因此, 探讨结构洞生成和填充对网络闭合与知识基础交互作用的调节, 有利于整合创新催化的动态过程, 实现网络闭合、知识基础与动态结构的多维匹配。

综上所述, 已有研究存在以下两点不足。①已有研究将宏观一体化知识派系作为创新催化的充分条件, 忽略了其网络闭合和知识基础双重属性的微观构成及其联合作用的差异性。由于网络闭合存在封闭式和开放式网络的创新悖论, 知识基础具有专业化和多样化的选择困境, 两者的协同组合会导致差异化的网络配置涌现, 单一多样化知识派系不足以打开创新催化的过程黑箱。因此, 探讨开放式和封闭式网络闭合、专业化和多样化知识基础的交互组合对创新催化的差异性影响, 是破解创新催化选择偏好的关键。②已有研究虽然意识到动态结构洞对网络闭合和知识基础的强化作用, 但是忽略了网络闭合、知识基础、结构洞与创新催化之间的动态协同演化关系。由于结构洞生成和填充推动了网络闭合的微观变化和知识基础的动态分布, 从而导致创

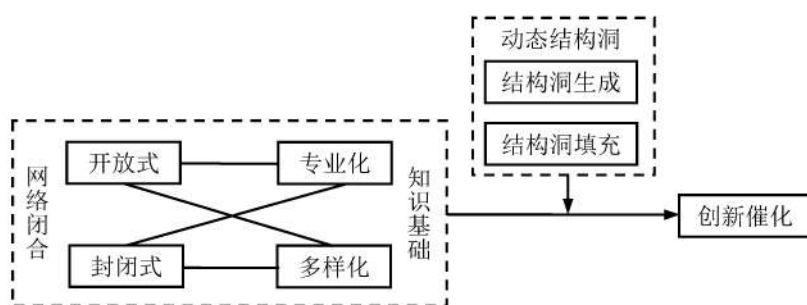


图1 研究概念框架

Figure 1 Research Conceptual Framework

新催化效能随之发生变化。因此,动态结构洞具有不可或缺的情景作用,探讨结构洞生成和填充对网络闭合和知识基础的调节作用,是识别创新催化情景依赖性的重点。

针对已有研究的不足,本研究将网络闭合、知识基础、动态结构洞和创新催化纳入同一研究框架,形成“网络闭合×知识基础-创新催化”的作用路径,探讨开放式专业化、开放式多样化、封闭式专业化和封闭式多样化网络对创新催化的差异化影响以及结构洞生成和填充的调节作用,试图剖析技术创新网络创新催化多维协同演化的最优匹配机制。本研究概念框架见图1。

## 2 研究假设

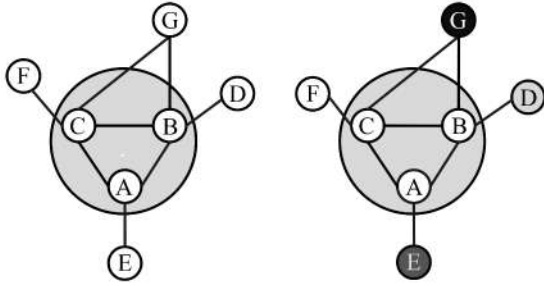
### 2.1 开放式网络、知识基础与创新催化

开放式专业化网络是低网络闭合与低知识基础组合而成的网络配置,兼具低连通性、桥式弱联结和知识领域聚焦的特点。强调通过稀疏网络密集的桥接关系和知识深度组合的互补效应,强化组织对非冗余控制的需求,刺激并增强组织间的知识共享,提升邻域组织的创新性。首先,开放式专业化网络通过开放性结构弥补了自中心与改变者相同领域的知识势差,通过知识深度交换和重组保障了创新催化的多样化优势。LEE et al.<sup>[38]</sup>认为开放结构融合了参与者与改变者的认知差异,能够更新认知,防止局部性偏差的产生。其次,开放式专业化网络中,成员凭借稀疏的桥连接形成,基于相似性的信任关系,强化了组织间的认知基础和信息分享意愿。GULATI et al.<sup>[4]</sup>认为富含结构洞的网络中改变者关注同一知识领域,更容易建立信任。最后,开放式专业化网络具有高度的延伸性和自治性,在提升自身技术、组织和市场变革能力的同时,通过相似领域的先验知识,能够意识到并解读邻域组织的创新需求。WAL et al.<sup>[39]</sup>认为即使缺乏深度依赖的第三方知识共享,接受熟悉合作组织的信息,依然能够确保组织的内外化整合,制定高质量的战略决策。开放式专业化网络以苹果公司智能手机业务的发展为例,从iphone开始推出到最新的iphone 7,苹果公司始终坚持单一产品策略,采用自主研发的IOS手机操作系统,创建了唯一的App Store软件平台,即采用知识专业化的创新战

略。为巩固行业的领导地位实施了“移动伙伴项目”的关系构建策略,不断扩张,创建开放式网络,合作伙伴覆盖全球多个国家和地区,带动了合作企业的创新收益。因此,苹果公司不仅形成了开放式专业化网络,而且通过这种网络配置成为手机行业领导者,具有较高的创新催化效能。

开放式多样化网络是低网络闭合与高知识基础组合而成的网络配置,兼具低连通性、桥式弱联结和知识领域分散的特点。与开放式专业化网络相比,虽然多样化知识有利于支持伙伴的创新过程,但是与开放式结构的组合过程中存在相互挤出的替代效应,自中心与改变者间难以形成共同的认知模式,存在信息超载的网络风险。首先,多样化的知识基础弱化了组织对非冗余控制优势的需求,组织由于缺乏深度合作无法支持海量信息的充分交换和重组,对知识的吸收和理解程度受限。GHOSH et al.<sup>[40]</sup>认为组织在高度开放和多样化的网络中,知识内化、外化、组合化和社会化进程缓慢。其次,开放式多样化网络由于缺乏冗余的第三方联系,导致社会关系薄弱,仅通过单一的桥接强关系或桥接弱关系无法替代齐美尔连接的知识分享优势。张巍等<sup>[41]</sup>认为齐美尔连接具有减轻自利、促进合作和解决冲突的作用,但是需要多样性知识的动态整合才能提升伙伴的创新绩效。最后,信息超载风险致使组织陷入了认知模式与先验知识不匹配的决策困境,削弱了组织的知识需求意识及其创新支持力度。WAL et al.<sup>[39]</sup>认为缺乏第三方信息共享的多样化网络中创新组织存在难以匹配的复制困境。开放式多样化网络以三星公司智能手机业务的发展为例,三星手机包括盖乐世S系列、Note系列、C系列和On系列等多条产品线,手机操作系统涵盖Symbian、Windows Mobile和Android,采用知识多样化的创新战略。合作伙伴遍布全球,占据了手机市场“半壁江山”,采用引进-模仿-改进-超越的模式,不断打造开放式创新网络。然而在带动伙伴创新的同时替代了以东芝为代表的伙伴企业,2016年又陷入Note 7的爆炸丑闻,导致合作企业受到重挫。因此,三星公司虽然形成了开放式多样化网络,但是受限于网络配置的信息超载风险,缺乏长远竞争力和持续合作伙伴,创新催化效能明显低于苹果公司。

基于以上分析,本研究认为开放式专业化网络与创新催化之间存在较强的敏感性匹配,属于开放式情景下的最优网络配置,而开放式多样化网络存在信息过载的风险,二者对比见图2。图2中,A、B、C为自中心节点(ego),D、E、F、G为改变者节点(alter),节点的颜色越深多样化程度越高,反之专业化程度越高,下同。



(a) 开放式专业化 (b) 开放式多样化

图2 开放式专业化网络与开放式多样化网络的对比  
Figure 2 Comparison of Open-specialized Network and Open-diverse Network

因此,本研究提出假设。

H<sub>1</sub> 开放式网络情景下,嵌入在开放式专业化网络对创新催化具有显著的正向影响。

## 2.2 封闭式网络、知识基础与创新催化

封闭式多样化网络是高网络闭合与高知识基础组合而成的网络配置,兼具高连通性、紧密强联结和知识领域分散的特点。强调紧密网络丰富的闭包关系和知识广度组合过程中的互补效应,组织虽然受到封闭的嵌入关系影响,但是多样化知识能够强化成员的认知优势,提升知识共享频率和邻域组织的创新性。首先,封闭式多样化网络具有自中心与改变者间不同领域的知识势差,促使组织在对自身知识领域反思的同时,扩大共同知识基础的选择域。GHOSH et al.<sup>[40]</sup>认为组织嵌入在多样化的网络结构中,通过知识碰撞能够刺激组织反思,突破现有理论的禁锢。其次,丰富的第三方连接提升了组织间信任,阻碍了错误信息的传播扩散,明确了自中心与改变者间知识需求的认知意识。TORTORIELLO<sup>[14]</sup>认为双方信息交换需要花费大量的时间和精力,第三方连接的存在改变了沟通方式,能够从封闭的网络中获取多元化信息。最后,共享的第三方冗余简化了分布式交互,仅依赖于封闭的三元结构强化知识分享意愿。GAVETTI et al.<sup>[42]</sup>认为紧密网络提供了多样化的信息平台,反映了成员的集体认知,能够通过冗余联系识别和推断自身知识的准确性。封闭式多样化网络以小米公司智能手机业务的发展为例,作为2010年成立的国产品牌,确定了“为发烧而生”的品牌战略,采用基于Android深度定制的MIUI操作系统,推出了小米系列、Note系列和红米系列多条手机产品线,始终采用知识多样化的创新战略。作为新兴的中国企业,虽然市场和合作伙伴主要集中在中国,

即嵌入在封闭式网络中,但是依然催生了华米、智米、飞米等互联网企业的发展。因此,小米公司形成了封闭式多样化网络,借助于这种网络配置重塑了智能手机的商业模式,占据了中国市场的领先地位,具有较高的创新催化效能。

封闭式专业化网络是高网络闭合与低知识基础组合而成的网络配置,兼具高连通性、紧密强联结和知识领域聚焦的特点。与封闭式多样化网络相比,虽然专业化知识也能支持伙伴的创新过程,但是与封闭式结构的组合过程中存在相互挤出的替代效应,缺乏异质性信息的持续涌入,成员受到群体思维的限制,导致过度嵌入的网络缺陷。首先,网络组织受到同质性知识基础的认知束缚,无法克服封闭式专业化网络的过度嵌入缺陷,固化了伙伴间知识共享模式,难以激发创新创意的持续涌现。WANG et al.<sup>[18]</sup>认为封闭式网络缺乏非冗余信息的支撑,网络成员容易受到惯性思维的限制。其次,封闭式专业化网络内部稠密、外部稀疏的结构特征,加剧了相似成员的派系聚集,产生分裂断层的破坏性影响,抑制了成员间的知识共享意愿。HEIDL et al.<sup>[43]</sup>认为分裂断层的派系边界诱发了合作冲突和联盟消散的风险。最后,过度紧密的网络结构会致使三元闭包功能失效,易于制定出片面甚至错误的决策,专业化知识的价值和准确性难以保障,进而无法识别合作伙伴的知识需求。YIN et al.<sup>[34]</sup>认为封闭式网络中的三元关系会强化错误性认知,导致第三方核对无法校验更正。封闭式专业化网络以黑莓公司智能手机业务的发展为例,黑莓作为加拿大的手机品牌,2006年曾在美国市场占有率高达48%,与苹果公司相同,始终坚持采用自主研发的OS系统,注重单一产品升级的知识专业化创新战略。由于研发更新速度缓慢,知识摄入有限,虽然有一定数量的跨国合作企业,但是与苹果和三星公司相比,开放性严重不足,手机事业不断下滑,难以提升合作伙伴的创新性。因此,黑莓公司形成了封闭式专业化的网络配置,受限于网络配置的过度嵌入缺陷,2017年甚至永久退出了智能手机行业的历史舞台,其创新催化效能严重不足。

基于以上分析,本研究认为封闭式多样化网络与创新催化之间存在较强的敏感性匹配,属于封闭式情景下的最优网络配置,而封闭式专业化网络存在过度嵌入的缺陷,二者对比见图3。

因此,本研究提出假设。

H<sub>2</sub> 封闭式网络情景下,嵌入在封闭式多样化网络对创新催化具有显著的正向影响。

## 2.3 动态结构洞的调节作用

结构洞生成有利于网络组织间弱联系和桥连接的形成,提升了邻域组织多样化知识的供给,但是对于4种网络配置存在显著差异。首先,结构洞生成强调的是“渔翁得利”的控制策略,通过异质性信息的传播渠道,打破了封闭式专业化网络过度嵌入的束缚,有利于产生创新性的观点和创意。DAHLANDER et al.<sup>[37]</sup>认为结构洞生成缓解了紧密网络知识流动性

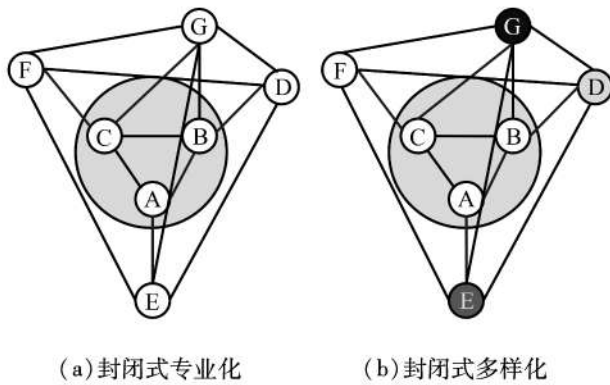


图3 封闭式专业化网络与封闭式多样化网络的对比  
Figure 3 Comparison of Closed-specialized Network and Closed-diverse Network

不足的缺陷。其次,结构洞生成强调开放性和多样化的双重结构特性,推动了网络配置沿着不同路径向开放式多样化网络转换。BURT<sup>[13]</sup>认为结构洞生成凭借联系的差异化策略,丰富了自身的创新机会和社会资本。最后,随着时间推移,结构洞生成的数量越多,开放性和多样化的结构特性愈明显,网络组织难以逃脱信息过载的冲击,创新效能无法持续维系。WAL et al.<sup>[39]</sup>认为过度多样化会导致网络组织的风险增加,结构洞的生成数量呈现出衰减趋势。

结构洞填充有利于网络组织间弱联系和三元闭环的形成,强化信任关系的同时传递给邻域组织支持创新的信号,但是这一激励机制对于4种网络配置存在显著差异。首先,结构洞填充强调的是通过第三方关系的“协调促进”策略形成稠密网络,凭借隐性的惯例机制破解信息超载困境。OBSTFELD<sup>[44]</sup>认为协调促进行为有利于隐性和复杂知识的传递。其次,结构洞填充与生成的演化路径相反,由于创新催化的最优网络配置存在较高的脆弱性,迫使其向强化的封闭式专业化结构特性转变。孙笑明等<sup>[36]</sup>认为结构洞填充在稀疏网络中的控制整合优势更强,但是难以适应过度紧密的外部网络。最后,随着时间推移,结构洞填充的数量越多,对于完全独立的网络组织,始终依赖

于自主创新,可以完全规避过度嵌入、路径锁定的网络风险。INGRAM et al.<sup>[45]</sup>认为结构洞填充无法保障网络中新思想、新创意的持续性涌现。

基于以上分析,本研究认为结构洞生成和填充弱化了最优网络配置的创新催化效能,分别向开放式多样化、封闭式专业化网络转换,见图4,相应的作用机制难以持续。因此,本研究提出假设。

H<sub>3a</sub> 结构洞生成强化封闭式专业化网络对创新催化的影响,抑制开放式专业化和封闭式多样化网络的创新催化效能,放大了开放式多样化网络的信息超载风险,这种作用关系随时间的增加而减弱;

H<sub>3b</sub> 结构洞填充强化开放式多样化网络对创新催化的影响,抑制开放式专业化和封闭式多样化网络的创新催化效能,放大了封闭式专业化网络的过度嵌入缺陷,这种作用关系随时间的增加而减弱。

### 3 研究设计

#### 3.1 数据来源

(1)合作数据。通过SDC Platinum数据库,选取创新活动频繁的高科技生物制药、通信、计算机设备和电子信息行业联盟合作数据,提取企业间合作关系,使用3年移动时间窗口,形成合作关系的邻接关系矩阵,生成该时间窗口下的合作关系网络,进而对其拓扑结构进行可视化处理。其中,通过标准产业分类代码SIC确定联盟合作的行业类型,在此基础上,为了避免企业样本重复,合并母公司与子公司联盟的数据,筛选出联盟国为中国的212家企业作为研究样本的焦点企业。

(2)专利数据。由于中国知识产权局SIPO专利数据库并不包含中国企业间的专利引用数据,因此本研究选择美国的专利数据库UPSTO,包括专利申请号码、申请人代码、专利申请日期、专利授予日期和专利引用等数据。2000年之前的数据存在缺失,同时由于发明专利从申请日到公开日有2年~3年的时滞,2015年至今的数据并不完全,最终选取2001年至2014年作为研究的时间区域,识别、提取上述联盟合作网络中的样本焦点企业,筛选企业申请授权的专

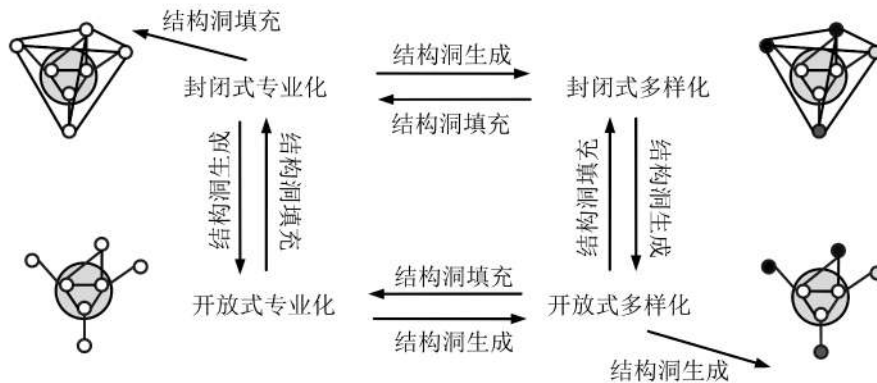


图4 结构洞生成和结构洞填充的调节作用  
Figure 4 Moderating Effect of Generations of Structural Holes and Closing of Structural Holes

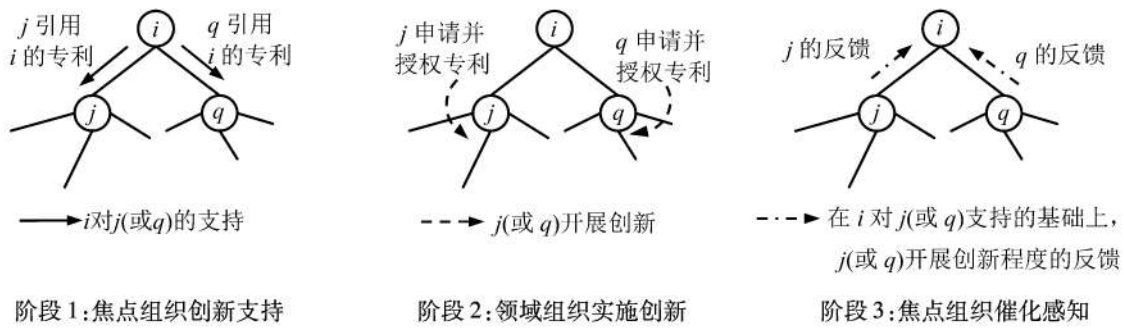


图5 创新催化的阶段划分

Figure 5 Stage Division for Catalyst of Innovation

利和引用数据。

### 3.2 变量测量

(1) 创新催化 (catalyst of innovation, CI)。测量组织在多大程度上实现催化剂角色, 帮助其他组织开展创新的程度。TORTORIELLO et al.<sup>[9]</sup>的研究中采用问卷题项“与该组织的合作过程中很容易产生新想法或创造性的解决方案”, 要求调查组织评估与网络中所有其他组织的创新催化程度, 但是由于网络中的组织数目众多, 实施问卷方式难度较大。因此, 本研究根据技术创新网络的特点, 依赖专利数据针对创新催化的概念测量进行改进, 将其过程分解为: 焦点组织创新支持、邻域组织实施创新、焦点组织催化感知3个阶段, 见图5。邻域组织引用焦点组织专利获得创新支持, 通过申请专利实施创新。同时由于合作关系的双向性, 焦点组织能够得到邻域组织的创新反馈, 感知自身承担催化剂角色的程度。

① 焦点组织创新支持阶段。为了评估焦点组织对邻域组织的创新贡献, 采用过去3年时间窗口下邻域组织引用焦点组织专利数占邻域组织总引用专利数的比值表示, 其计算式为

$$PC_{i,j,t} = \frac{\sum_{k=t-3}^{t-1} RP_{i,j,k}}{TP_{j,t}} \quad (1)$$

其中,  $PC_{i,j,t}$  为  $t$  年  $i$  焦点组织促进  $j$  组织创新的贡献比率,  $RP_{i,j,k}$  为  $k$  年  $j$  组织引用  $i$  焦点组织专利的数量,  $TP_{j,t}$  为  $t$  年  $j$  组织引用的所有专利数量。

② 邻域组织实施创新阶段。为了评估邻域组织开展创新的程度, 采用专利申请授权数据表征组织的创新性。由于专利授权具有时滞期, 搜索邻域组织在3年内申请并授权的发明专利数, 对其进行自然对数转换, 令  $P_{j,t}$  为  $t$  年  $j$  组织申请并授权的发明专利数。

③ 焦点组织催化感知阶段。即邻域组织引用焦点组织专利开展创新, 申请专利后焦点组织得到的反馈。借鉴 TORTORIELLO et al.<sup>[9]</sup> 的加权处理方法, 采用焦点组织对邻域组织创新的贡献比率与邻域组织创新性相乘, 表征焦点组织自身感知到催化邻域组织的创新程度。其计算式为

$$CI_{i,j,t} = PC_{i,j,t} \cdot \ln P_{j,t} \quad (2)$$

其中,  $CI_{i,j,t}$  为  $t$  年  $i$  焦点组织感知到自身对  $j$  组织的创

新催化程度。

(2) 网络闭合 (network closure, NC)。由于网络闭合是判断结构开放性和封闭性的标准, 可以通过焦点组织局部的自中心网络紧密程度表征。借鉴 WAL et al.<sup>[39]</sup> 的研究成果, 采用组织间关系系数与所有可能关系系数总和的比值表示, 其计算式为

$$NC_{i,t} = \frac{2L_{i,t}}{n_{i,t}(n_{i,t} - 1)} \quad (3)$$

其中,  $NC_{i,t}$  为  $t$  年  $i$  焦点组织的网络闭合值, 取值范围为  $0 \sim 1$ , 完全开放式和完全封闭式网络是该变量的两端极端值;  $L_{i,t}$  为  $t$  年  $i$  焦点组织实际的关系数;  $n_{i,t}$  为  $t$  年  $i$  焦点组织自中心网络中节点数目, 其具有的最大关系数目为  $\frac{n_{i,t}(n_{i,t} - 1)}{2}$ 。

(3) 知识基础 (knowledge base, KB)。由于知识基础是判断知识专业化和多样化的标准, 通过测量组织在不同技术知识领域的资源分配比率表征。借鉴 LAHIRI<sup>[46]</sup> 和刘岩等<sup>[47]</sup> 的研究成果, 采用不同类别专利占比的信息熵进行测量, 熵值越小表示组织的技术知识集中于单一领域, 知识专业化程度高, 熵值越大知识多样化程度越高。其计算式为

$$KB_{i,t} = \sum_{m=1}^N p_{i,m,t} \ln \frac{1}{p_{i,m,t}} \quad (4)$$

其中,  $KB_{i,t}$  为  $t$  年  $i$  焦点组织的知识基础值,  $m$  为国际专利分类的大类,  $p_{i,m,t}$  为  $t$  年  $i$  焦点组织在  $m$  专利分类上发明专利数占所有专利数的比例,  $N$  为专利分类的类别总数。

(4) 动态结构洞 (dynamic structural holes, DSH)。由于动态结构洞需要表征限制系数的变动趋势<sup>[21]</sup>, 因此, 采用各组织不同时刻的限制系数差值表示, 忽略未发生变动的组织 (即限制系数差值为0)。其计算式为

$$\Delta C_{i(t+1),i,t} = \sum_{j=1}^n (p_{i,j,(t+1)} + \sum_{q=1}^n p_{i,q,(t+1)} p_{q,j,(t+1)})^2 - \sum_{j=1}^n (p_{i,j,t} + \sum_{q=1}^n p_{i,q,t} p_{q,j,t})^2 \quad (5)$$

其中,  $\Delta C_{i(t+1),i,t}$  为  $(t+1)$  年与  $t$  年  $i$  焦点组织自中心网络限制系数的差值,  $q$  为  $i$  和  $j$  共同的第三方邻域组织,  $p_{i,j,(t+1)}$  为  $(t+1)$  年  $i$  焦点组织所有邻域组织中  $j$  所占的

权重比率,  $p_{i,j,t}$  为  $t$  年  $i$  焦点组织所有邻域组织中  $j$  所占的权重比率,  $p_{i,q,(t+1)}$  为  $(t+1)$  年  $i$  焦点组织的所有邻域组织中  $q$  所占的权重比率,  $p_{i,q,t}$  为  $t$  年  $i$  焦点组织的所有邻域组织中  $q$  所占的权重比率,  $p_{q,j,(t+1)}$  为  $(t+1)$  年  $q$  组织的所有邻域组织中  $j$  所占的权重比率,  $p_{q,j,t}$  为  $t$  年  $q$  组织的所有邻域组织中  $j$  所占的权重比率。

结构洞生成 (generations of structural holes, *GSH*)。网络组织的限制系数减幅越大的组织越多, 结构洞生成的数量越多。其计算式为

$$GSH_{t+1} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I |\Delta C_{i(t+1),i}|, \Delta C_{i(t+1),i} < 0 \quad (6)$$

其中,  $GSH_{t+1}$  为  $(t+1)$  年的结构洞生成指数, 表示网络中  $I$  个组织限制系数降低的平均程度;  $I$  为网络中限制系数降低的组织总数。  $\Delta C_{i(t+1),i} < 0$  表示  $i$  组织的限制系数降低。

结构洞填充 (closing of structural holes, *CSH*)。与结构洞生成相反, 网络中限制系数增幅越大的组织越多, 填充的结构洞数量越多。其计算式为

$$CSH_{t+1} = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \Delta C_{i(t+1),i}, \Delta C_{i(t+1),i} > 0 \quad (7)$$

其中,  $CSH_{t+1}$  为  $(t+1)$  年的结构洞填充指数, 表示网络中  $D$  个组织限制系数增加的平均程度;  $D$  为网络中限制系数增加的组织总数。  $\Delta C_{i(t+1),i} > 0$  表示  $i$  组织的限制系数增加。

(5)控制变量。选取网络规模、知识储量和中介中心性作为控制变量。网络规模是不同时间窗口下的企业数量, 直接反映网络中知识资源的丰富程度; 知识储量采用样本企业过去3年内获批的专利数量进行测量, 直接反映了企业以往的创新积累; 中介中

心性越大反映了节点的知识控制和传播能力越强, 对提升伙伴企业的创新能力具有重要影响。

#### 4 数据分析和结果

##### 4.1 网络结构的描述性统计

根据3年的时间窗口, 2001年至2014年可划分为12个创新网络, 计算每一移动时间窗口下的网络结构特征, 包括网络规模、边数、网络密度、平均路径长度、平均聚集系数和模块化  $Q$  值, 具体数据见表1。

由表1可知, 网络规模的节点数和边数不断增长, 网络密度逐年降低, 平均路径长度呈现出波动性增长的趋势, 平均聚集系数先减少后增加。模块化指标  $Q$  值均大于0.300, 存在明显的社群现象, 呈现出多社群的聚合趋势, 焦点企业作为研究样本嵌入在复杂的合作网络内。图6给出2004年~2006年、2008年~2010年和2012年~2014年3个时间窗口下的整体网络结构。

各个测量变量的描述性统计和相关系数见表2, 变量间不存在较强的相关关系, 相关系数均小于0.700。方差膨胀因子取值范围均小于上限阈值10, 容忍度大于下限阈值0.100, 结果表明变量间不存在明显的多重共线性。

##### 4.2 回归分析

本研究采用多元回归分析验证研究假设, 共构建6个子模型, 模型1检验控制变量对创新催化的影响, 模型2检验自变量的直接效应, 模型3检验网络闭合与知识基础的交互效应, 模型4和模型5分别检验结构洞生成和填充的调节作用, 模型6加入所有交互项。回归分析结果见表3。

表1 网络结构特征

Table 1 Characteristics of Network Structure

时间窗口	网络规模	边数	网络密度	平均路径长度	平均聚集系数	模块化 $Q$ 值
2001年~2003年	121	254	0.035	3.765	0.683	0.650
2002年~2004年	120	244	0.034	3.594	0.648	0.623
2003年~2005年	140	371	0.038	3.443	0.693	0.520
2004年~2006年	182	494	0.030	3.287	0.661	0.497
2005年~2007年	278	871	0.023	3.672	0.648	0.528
2006年~2008年	391	1 192	0.016	3.712	0.630	0.531
2007年~2009年	492	1 310	0.011	3.795	0.607	0.566
2008年~2010年	544	1 377	0.009	3.802	0.626	0.670
2009年~2011年	642	1 405	0.007	4.048	0.604	0.643
2010年~2012年	705	1 586	0.006	4.153	0.599	0.630
2011年~2013年	711	1 602	0.006	4.254	0.614	0.684
2012年~2014年	774	1 613	0.005	4.386	0.677	0.720

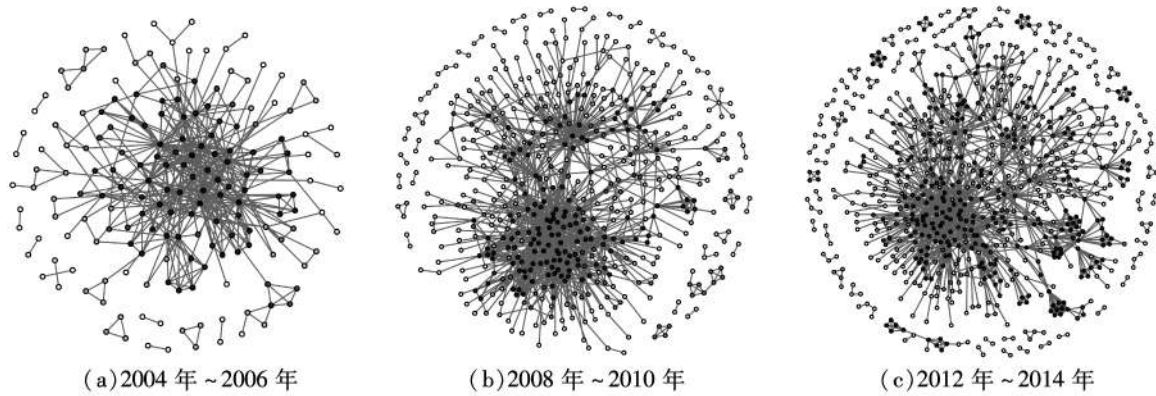


图6 不同时间窗口下的整体网络结构

Figure 6 Global Network Structures under Different Time Window

表2 描述性统计和相关系数

Table 2 Descriptive Statistics and Correlations Coefficient

变量	均值	标准差	创新催化	网络闭合	知识基础	结构洞生成	结构洞填充
创新催化	2.652	0.834	1				
网络闭合	0.311	0.112	0.268**	1			
知识基础	4.137	2.621	0.313***	0.088	1		
结构洞生成	1.546	3.725	0.146**	-0.235**	0.169*	1	
结构洞填充	2.588	6.234	0.159**	0.146*	-0.084	-0.105	1

注：\*为  $p < 0.050$ , \*\*为  $p < 0.010$ , \*\*\*为  $p < 0.001$ , 下同。

表3 回归分析结果

Table 3 Results of Regression Analysis

	创新催化					
	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6
控制变量						
网络规模	0.022	0.030*	0.026*	0.031*	0.018	0.031*
知识储量	0.135*	0.146*	0.207**	0.197**	0.144*	0.097*
中介中心性	0.107*	0.086*	0.094*	0.163*	0.159*	0.127**
直接效应						
网络闭合		0.125	0.105	0.123	0.134	0.112
知识基础		0.030	0.033	0.042	0.038	0.024
结构洞生成		0.092*	0.113	0.125*	0.168*	0.120*
结构洞填充		0.108	0.088*	0.092*	0.105	0.088*
交互效应						
网络闭合 × 知识基础			0.294***	0.285***	0.264***	0.275***
调节效应						
网络闭合 × 知识基础 × 结构洞生成				-0.136**		-0.108*
网络闭合 × 知识基础 × 结构洞填充					-0.101*	-0.096*
$R^2$	0.067	0.143	0.155	0.204	0.171	0.155
调整 $R^2$	0.053	0.136	0.147	0.201	0.155	0.147
$F$	3.886**	4.659**	6.133***	6.277***	6.489***	7.124***



### 4.3 检验结果和讨论

(1)网络闭合与知识基础对创新催化的交互作用检验

由模型2可知,网络闭合和知识基础对创新催化的直接效应不显著,在模型3中加入交互项,网络闭合与知识基础的交互对创新催化存在显著正向影响, $\beta = 0.294, p < 0.001$ 。说明单一的网络闭合和知识基础均无法激活组织间的创新催化,只有在两者的协同作用下才能促进创新催化的效能发挥。网络闭合的结构特性和知识基础的资源特性是创新催化剂作用发挥的条件。

由于单纯交互效应的显著性无法判断组织对网络闭合和知识基础的选择性偏好,需要对开放式、封闭式网络闭合以及专业化、多样化知识基础的二元组合进行分析。以网络闭合和知识基础的均值加减一个标准差代入回归模型中,图7为网络闭合与知识基础的交互作用图示。

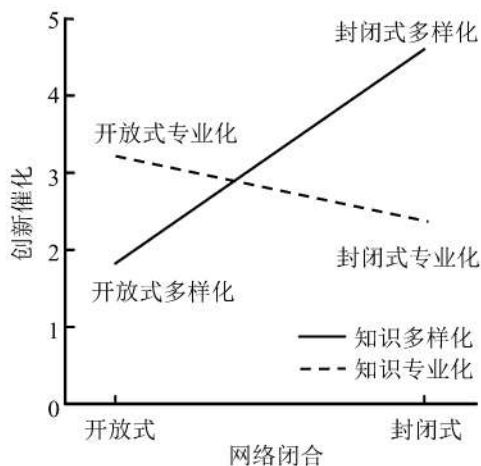


图7 网络闭合与知识基础的交互作用

Figure 7 Interaction Effects between Network Closure and Knowledge Base

由图7可知,一方面,在网络闭合较低条件下,嵌入在开放式专业化网络比开放式多样化网络具有较高的创新催化作用。在网络闭合较高的条件下,嵌入在封闭式多样化网络比封闭式专业化网络具有较高的创新催化作用。另一方面,当组织的知识多样化程度较高时,网络闭合与创新催化正相关,当组织的知识专业化程度较高时,网络闭合与创新催化负相关。因此,开放式专业化网络和封闭式多样化网络是网络闭合与知识基础的最优匹配,能够最大程度地催化组织创新。 $H_1$ 和 $H_2$ 得到验证。结论也验证了TATARYNOWICZ et al.<sup>[1]</sup>、WAL et al.<sup>[39]</sup>和徐可等<sup>[48]</sup>的观点,创新组织存在着网络结构与知识基础的双重选择偏好。同时,图7显示,封闭式多样化网络的创新催化效能高于开放式专业化网络。但是受到组织嵌入的网络结构或自身知识基础限制,网络组织难以同时追求两方面的改进,实现网络闭合与知识基础的优势互补是实现创新催化的有效途径。

为了提升组织的创新催化效能,当组织嵌入在封闭式网络时,需要依赖远程搜寻加深探索式学习,提升知识的多样化水平;当组织嵌入在开放式网络时,需要依赖本地搜索稳固组织的利用式学习,提升知识的专业化水平,这也符合悖论整合理论的权变思想<sup>[49]</sup>。

(2)结构洞生成的调节作用检验

由模型4可知,结构洞生成、网络闭合与知识基础的三项交互对创新催化存在显著负向影响, $\beta = -0.136, p < 0.010$ ;由模型5可知,结构洞填充、网络闭合与知识基础的三项交互对创新催化存在显著负向影响, $\beta = -0.101, p < 0.050$ ;完整的回归模型6中得到同样的结果。为了清晰呈现这一交互作用,根据结构洞生成和结构洞填充值小于或大于平均值,将样本分别集结为低、高结构洞生成组和低、高结构洞填充组,应用方差分析检验,结果显示低结构洞生成与高结构洞生成组间数据存在显著差异, $F = 185.214, p < 0.001$ ;低结构洞填充与高结构洞填充组间数据存在显著差异, $F = 327.214, p < 0.001$ 。图8和图9分别为结构洞生成和填充对网络闭合与知识基础交互效应的调节作用图示。

由图8和图9可知,当结构洞生成(结构洞填充)较低时,开放式专业化和封闭式多样化网络的创新催化效能高于开放式多样化和封闭式专业化网络。当结构洞生成(结构洞填充)较高时,开放式多样化和封闭式专业化网络的创新催化效能高于开放式专业化和封闭式多样化网络。因此,随着结构洞生成(结构洞填充)指数的不断增加,虽然抑制了网络闭合与知识基础对创新催化促进作用的最优匹配,但是加强了开放式多样化和封闭式专业化两种非最优匹配的创新催化效能。 $H_{3a}$ 和 $H_{3b}$ 的调节效应得到部分验证,并未放大开放式多样化网络信息过载和封闭式专业化网络过度嵌入的风险,究其原因可能是结构洞过度的生成和填充行为导致网络结构的功能缺失,仅能依赖自身和伙伴的知识基础开展创新,实现创新角色的逐步转换。

(3)调节作用的时效性检验

为了进一步检验动态结构洞调节作用的时间持续性,分别以 $(t+1)$ 、 $(t+2)$ 和 $(t+3)$ 各年的创新催化程度为因变量进行分组回归分析,结果见表4。

无论低或高结构洞生成, $t$ 年网络闭合与知识基础的交互项对之后连续3年创新催化的影响显著,在低结构洞生成的样本组中显著为正, $(t+1)$ 年, $\beta = 0.325, p < 0.010$ ;  $(t+2)$ 年, $\beta = 0.313, p < 0.010$ ;  $(t+3)$ 年, $\beta = 0.304, p < 0.010$ 。在高结构洞生成的样本组中显著为负, $(t+1)$ 年, $\beta = -0.285, p < 0.010$ ;  $(t+2)$ 年, $\beta = -0.281, p < 0.010$ ;  $(t+3)$ 年, $\beta = -0.197, p < 0.050$ 。因此, $H_{3a}$ 中的调节效应的时效性假设未得到验证,结构洞生成的调节作用能在较长一段时间内保持。究其原因,结构洞生成的弱联系和桥连接优势远大于信息超载的负面效应,网络组织依赖这一控制优势能够克服时间束缚,促使效能发挥更加持久。

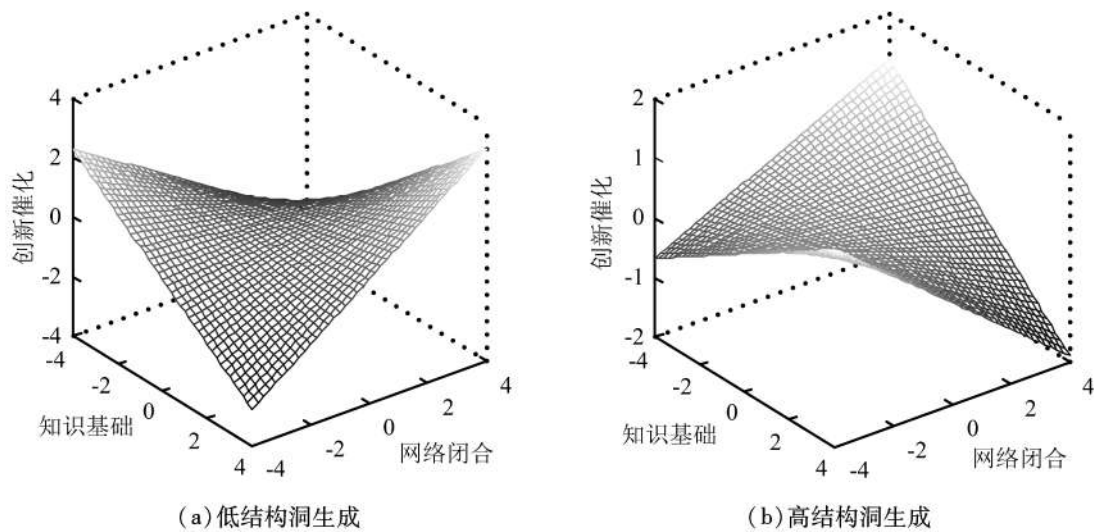


图8 结构洞生成的调节作用  
Figure 8 Moderating Effects of Generations of Structural Holes

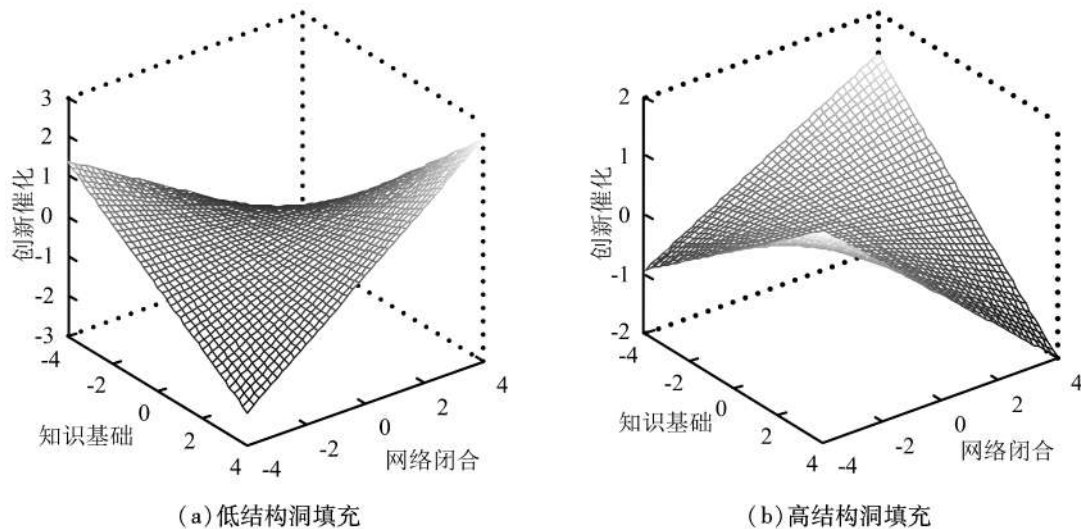


图9 结构洞填充的调节作用  
Figure 9 Moderating Effects of Closing of Structural Holes

无论低或高结构洞填充,  $t$  年网络闭合与知识基础的交互项仅对  $(t+1)$  年创新催化的影响显著。在低结构洞填充的样本组中,  $(t+1)$  年,  $\beta = 0.264, p < 0.010$ ;  $(t+2)$  年,  $\beta = 0.221, p > 0.050$ ;  $(t+3)$  年,  $\beta = 0.209, p > 0.050$ 。在高结构洞生成的样本组中,  $(t+1)$  年,  $\beta = -0.306, p < 0.010$ ;  $(t+2)$  年,  $\beta = -0.264, p > 0.050$ ;  $(t+3)$  年,  $\beta = -0.233, p > 0.050$ 。因此,  $H_{3b}$  中的调节效应的时效性假设得到验证, 结构洞填充的调节作用会随时间的增加而减弱。这也验证了 XIAO et al.<sup>[50]</sup> 和孙笑明等<sup>[36]</sup> 的观点, 结构洞填充虽然对提高创新绩效具有重要作用, 但是这一促进效能仅在较短的时间内维持。

## 5 结论

创新催化需要发挥二维网络闭合和知识基础的创新优势, 同时结合结构洞的动态协同演化过程才能实现网络成员创新催化剂角色的转变。本研究基

于悖论整合视角, 研究网络闭合与知识基础的交互对创新催化的差异性影响以及结构洞生成和填充的调节作用, 结合中国合作创新实践数据进行实证分析。研究表明, ①开放式和封闭式网络闭合、专业化和多样化知识基础与动态结构洞生成和填充的多维匹配是实现创新催化的最小功能集, 其内部构成的悖论整合是破解创新催化选择偏好的关键途径。②开放式专业化网络和封闭式多样化网络是创新催化的最优网络配置, 对创新催化均存在显著的正向作用, 而开放式多样化和封闭式专业化网络存在信息过载和过度嵌入的网络缺陷, 难以形成支持创新和催化伙伴创新的过程。③结构洞生成和填充负向调节网络闭合与知识基础对创新催化的交互效应, 并且存在作用效能的时效差异。结构洞生成和填充强化了开放式多样化和封闭式专业化网络的创新催化效能, 抑制了开放式专业化和封闭式多样化网络对创新催化的促进作用。结构洞生成的促进作

表4 分组回归分析结果  
Table 4 Regression Analysis Results of Different Groups

	低结构洞生成			高结构洞生成			低结构洞填充			高结构洞填充		
	t+1	t+2	t+3	t+1	t+2	t+3	t+1	t+2	t+3	t+1	t+2	t+3
控制变量												
网络规模	0.024	0.022	0.021	0.033	0.032	0.032	0.019	0.021	0.022	0.025	0.023	0.019
知识储量	0.137*	0.132*	0.133*	0.159*	0.147*	0.144*	0.101*	0.102*	0.102*	0.135*	0.114*	0.092
中介中心性	0.088	0.113*	0.102	0.114*	0.108*	0.094	0.098	0.084	0.083	0.077	0.073	0.071
直接效应												
网络闭合	0.214	0.209	0.205	0.233	0.224	0.219	0.197	0.204	0.188	0.174	0.171	0.169
知识基础	0.168	0.165	0.163	0.138	0.135	0.135	0.185	0.179	0.164	0.155	0.154	0.155
调节效应												
网络闭合 × 知识基础	0.325**	0.313**	0.304**	-0.285**	-0.281**	-0.197*	0.264**	0.221	0.209	-0.306**	-0.264	-0.233
R <sup>2</sup>	0.132	0.155	0.224	0.148	0.236	0.283	0.176	0.251	0.332	0.248	0.296	0.283
调整 R <sup>2</sup>	0.127	0.149	0.208	0.125	0.226	0.274	0.169	0.223	0.328	0.235	0.288	0.274
F	2.446**	3.784**	5.556**	3.013**	4.865**	6.604**	3.164**	5.519**	6.132**	4.329**	5.111**	6.604**

用能够在较长一段时间内持续,而结构洞填充的调节效能随时间的增加而减弱。

研究结论具有重要的理论意义。①聚焦于创新催化剂的关键生态角色,选取网络闭合和知识基础的微观构成作为切入点,系统全面地揭示开放式和封闭式网络闭合与专业化和多样化知识基础的交互组合对创新催化的影响,拓展和丰富了技术创新网络中创新催化涌现的支撑条件及其网络选择偏好。跳出了现有创新催化研究中TORTORIELLO et al.<sup>[9]</sup>对于多样化知识派系宏观一体化的条件认知,采用权变组合策略整合了微观构成的创新悖论,形成了创新催化开放式专业化、开放式多样化、封闭式专业化和封闭式多样化4种网络配置的支撑条件,识别了开放式专业化和封闭式多样化网络的选择偏好,这一发现为破解创新催化的过程黑箱、构建创新生态系统提供了重要的理论依据。②将结构洞生成和结构洞填充两种动态变化纳入到创新催化的研究框架,探讨动态结构洞在网络闭合与知识基础交互与创新催化之间的调节作用,厘清了动态结构洞在促进创新催化网络配置间的转化机制。已有研究大多集中于结构洞在推动网络演化中的关键作用<sup>[13,51]</sup>,本研究响应了QUINTANE et al.<sup>[35]</sup>对于动态结构洞的呼吁,将创新催化与动态网络理论相关联,识别出了结构洞生成和结构洞填充负向调节作用的共性、差异和时效特征,研究结论确认了动态结构洞在网络闭合

和知识基础与创新催化协同演化过程中的缔结作用,丰富了动态结构洞的作用边界探讨,诠释了创新催化效能发挥的情景依赖性。

研究结论可以为创新企业的网络化成长提供新思路,实践启示包括:①建立企业管理者对创新生态角色的权变性认知,从传统创新者向创新催化者转变。由于中国高科技企业深受儒家自中心思想束缚,网络化的合作模式难以突破技术创新发展的瓶颈。为了推动企业获取持续竞争优势,创新催化的关键角色就显得尤为重要,网络中先发企业通过创新论坛、创新咖啡等活动向后发企业提供知识资源支撑,后发企业向先发企业反馈提供互补性资产,形成健康运转的创新生态系统。②强化企业管理者对技术与合作的战略组合型决策,政府相关部门根据网络化需求制定政策引导合作平台构建。由于中国高科技企业处于高权力距离的制度背景中,为了激活企业间的协同创新战略,创新催化的最优网络配置就显得不可或缺。针对技术范围单一的高技术企业,增加研发投入,制定政策支持孵化器和科技园等基础设施建设,组建合作联盟打造开放式网络。针对技术范围分散的高技术企业,适度的缩减研发投入,制定政策抬高技术准入门槛,限制联盟扩张,鼓励深化现有合作,打造封闭式网络。③实施与企业嵌入网络化环境相匹配的关系模式,通过“寻洞策略”和“补洞策略”实现创新共赢。由于中国高科技

企业强调集体主义奉献文化,与西方个人主义文化下单一结构洞生成的合作倾向不同,需要权变性触发结构洞生成和填充。在紧密的合作圈子中开展“寻洞策略”,鼓励较大技术距离的企业间合作,加强圈外联系,防止发生过度嵌入现象;在松散的合作联盟中开展“补洞策略”,推动相似技术企业的深化合作,稳固关系纽带。

本研究尚存在一定局限性。①研究采用专利申请和引用数据间接测量组织的创新催化感知程度,未采用组织间的调查问卷获取创新催化的评估矩阵。②研究忽略了网络闭合与知识基础的交互对创新与创新催化之间的差异性比较,以及演化过程中网络闭合时间序列的因果关系。因此,在未来的研究中可采取专利数据与问卷调查两种相结合的方式测量创新催化,扩展分析创新与创新催化的协同演化机理是进一步的研究重点。

#### 参考文献:

- [1] TATARYNOWICZ A, SYTCH M, GULATI R. Environmental demands and the emergence of social structure: technological dynamism and interorganizational network forms. *Administrative Science Quarterly*, 2016, 61(1): 52-86.
- [2] 张古鹏. 小世界创新网络动态演化及其效应研究. *管理科学学报*, 2015, 18(6): 15-29.  
ZHANG Gupeng. Dynamic evolution of small world innovation network and its effects. *Journal of Management Sciences in China*, 2015, 18(6): 15-29. (in Chinese)
- [3] DAVIS J P. The group dynamics of interorganizational relationships: collaborating with multiple partners in innovation ecosystems. *Administrative Science Quarterly*, 2016, 61(4): 621-661.
- [4] GULATI R, SYTCH M, TATARYNOWICZ A. The rise and fall of small worlds: exploring the dynamics of social structure. *Organization Science*, 2012, 23(2): 449-471.
- [5] SINGH H, KRYSZYNSKI D, LI X, et al. Pipes, pools, and filters: how collaboration networks affect innovative performance. *Strategic Management Journal*, 2016, 37(8): 1649-1666.
- [6] 孙国强, 吉迎东, 张宝建, 等. 网络结构、网络权力与合作行为: 基于世界旅游小姐大赛支持网络的微观证据. *南开管理评论*, 2016, 19(1): 43-53.  
SUN Guoqiang, JI Yingdong, ZHANG Baojian, et al. Research on network structure, network power and cooperation behavior: based on the micro-evidences from support network of miss tourism world contest. *Nankai Business Review*, 2016, 19(1): 43-53. (in Chinese)
- [7] 赵炎, 冯薇雨, 郑向杰. 联盟网络中派系与知识流动的耦合对企业创新能力的影响. *科研管理*, 2016, 37(3): 51-58.  
ZHAO Yan, FENG Weiyu, ZHENG Xiangjie. The impact of coupling between cliques and knowledge flow in alliance network on firm innovation capability. *Science Research Management*, 2016, 37(3): 51-58. (in Chinese)
- [8] MARTIN R L. The innovation catalysts. *Harvard Business Review*, 2011, 89(6): 82-87.
- [9] TORTORIELLO M, MCEVILY B, KRACKHARDT D. Being a catalyst of innovation: the role of knowledge diversity and network closure. *Organization Science*, 2015, 26(2): 423-438.
- [10] REAGANS R, MIRON-SPEKTOR E, ARGOTE L. Knowledge utilization, coordination, and team performance. *Organization Science*, 2016, 27(5): 1108-1124.
- [11] ZANARONE G, LO D, MADSEN T L. The double-edged effect of knowledge acquisition: how contracts safeguard pre-existing resources. *Strategic Management Journal*, 2016, 37(10): 2104-2120.
- [12] SHIPILOV A, GULATI R, KILDUFF M, et al. Relational pluralism within and between organizations. *Academy of Management Journal*, 2014, 57(2): 449-459.
- [13] BURT R S. Reinforced structural holes. *Social Networks*, 2015, 43: 149-161.
- [14] TORTORIELLO M. The social underpinnings of absorptive capacity: the moderating effects of structural holes on innovation generation based on external knowledge. *Strategic Management Journal*, 2015, 36(4): 586-597.
- [15] 汤小莉, 田高良, 孙笑明, 等. 占据合作网络切割点位置与关键研发者创造力. *系统工程理论与实践*, 2016, 36(12): 3152-3163.  
TANG Xiaoli, TIAN Gaoliang, SUN Xiaoming, et al. The impact of occupying cut-vertices positions on the creativity of key inventor in collaborative network. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 2016, 36(12): 3152-3163. (in Chinese)
- [16] 吕一博, 程露, 苏敬勤. 组织惯性对集群网络演化的影响研究: 基于多主体建模的仿真分析. *管理科学学报*, 2015, 18(6): 30-40.  
LV Yibo, CHENG Lu, SU Jingqin. The impact of organizational inertia: a multi-agent simulation research on cluster network evolution. *Journal of Management Sciences in China*, 2015, 18(6): 30-40. (in Chinese)
- [17] GRIGORIOU K, ROTHARMEL F T. Organizing for knowledge generation: internal knowledge networks and the contingent effect of external knowledge sourcing. *Strategic Management Journal*, 2017, 38(2): 395-414.
- [18] WANG C, RODAN S, FRUIN M, et al. Knowledge networks, collaboration networks, and exploratory innovation. *Academy of Management Journal*, 2014, 57(2): 484-514.
- [19] 赵丰义, 唐晓华. 技术创新二元网络组织的理论与经验研究: 基于探索与利用跨期耦合的视角. *中国工业经济*, 2013(8): 83-95.  
ZHAO Fengyi, TANG Xiaohua. A theoretical and empirical study on dual network of technological innovation: based on inter-temporal coupling of exploration and exploitation. *China Industrial Economics*, 2013(8): 83-95. (in Chinese)
- [20] CARNABUCI G, DIÓSZEGI B. Social networks, cognitive style, and innovative performance: a contingency perspective. *Academy of Management Journal*, 2015, 58(3): 881-905.
- [21] BURT R S. *Structural holes: the social structure of competition*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1992: 14-32.
- [22] MCKINLEY W, LATHAM S, BRAUN M. Organizational decline and innovation: turnarounds and downward spirals. *Academy of Management Review*, 2014, 39(1): 88-110.

- [23] COLEMAN J S. *Foundations of social theory*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990:17-19.
- [24] SCHILLING M A. Technology shocks, technological collaboration, and innovation outcomes. *Organization Science*, 2015, 26(3):668-686.
- [25] 周钟,陈智高. 产业集群网络中知识转移行为仿真分析:企业知识刚性视角. *管理科学学报*, 2015, 18(1):41-49.  
ZHOU Zhong, CHEN Zhigao. Simulation of knowledge transfers in industrial cluster networks: a firm's knowledge rigidity perspective. *Journal of Management Sciences in China*, 2015, 18(1):41-49. (in Chinese)
- [26] 赵健宇. 知识创造行为对知识网络演化的影响:以知识贬值和知识活性为参数. *系统管理学报*, 2016, 25(1):175-184.  
ZHAO Jianyu. Effect of knowledge creation behavior on knowledge network evolution: using knowledge devaluation and knowledge emancipator as parameters. *Journal of Systems & Management*, 2016, 25(1):175-184. (in Chinese)
- [27] MAJCHRZAK A, JARVENPAA S L, BAGHERZADEH M. A review of interorganizational collaboration dynamics. *Journal of Management*, 2015, 41(5):1338-1360.
- [28] 董小英,晏梦灵,余艳. 企业创新中探索与利用活动的分离-集成机制:领先企业二元能力构建研究. *中国软科学*, 2015(12):103-119.  
DONG Xiaoying, YAN Mengling, YU Yan. The differentiation-integration mechanisms of exploration and exploitation for enterprise innovation: the ambidexterity building process of a leading company. *China Soft Science*, 2015(12):103-119. (in Chinese)
- [29] YI S, KNUDSEN T, BECKER M C. Inertia in routines: a hidden source of organizational variation. *Organization Science*, 2016, 27(3):782-800.
- [30] 杨慧军,杨建君. 外部搜寻、联结强度、吸收能力与创新绩效的关系. *管理科学*, 2016, 29(3):24-37.  
YANG Huijun, YANG Jianjun. Research on the impact of external search, linking intensity and absorptive capacity on innovation performance. *Journal of Management Science*, 2016, 29(3):24-37. (in Chinese)
- [31] 宋艳双,刘入境. 知识阈值对组织学习绩效的影响研究. *管理科学*, 2016, 29(4):94-103.  
SONG Yanshuang, LIU Renjing. The effect of knowledge thresholds on organizational learning performance. *Journal of Management Science*, 2016, 29(4):94-103. (in Chinese)
- [32] CHOI B, KUMAR M V S, ZAMBUTO F. Capital structure and innovation trajectory: the role of debt in balancing exploration and exploitation. *Organization Science*, 2016, 27(5):1183-1201.
- [33] 应洪斌. 结构洞对产品创新绩效的作用机理研究:基于知识搜索与转移的视角. *科研管理*, 2016, 37(4):9-15.  
YING Hongbin. A study of the influence of structural holes on product innovation performance from the perspective of knowledge search and transfer. *Science Research Management*, 2016, 37(4):9-15. (in Chinese)
- [34] YIN X, WU J, TSAI W. When unconnected others connect: does degree of brokerage persist after the formation of a multipartner alliance?. *Organization Science*, 2012, 23(6):1682-1699.
- [35] QUINTANE E, CARNABUCI G. How do brokers broker? Tertius gaudens, tertius iungens, and the temporality of structural holes. *Organization Science*, 2016, 27(6):1343-1360.
- [36] 孙笑明,崔文田,董劲威. 发明家网络中结构洞填充的影响因素研究. *科研管理*, 2013, 34(7):31-38, 44.  
SUN Xiaoming, CUI Wentian, DONG Jinwei. The influential factors of structural hole filling within inventor networks. *Science Research Management*, 2013, 34(7):31-38, 44. (in Chinese)
- [37] DAHLANDER L, MCFARLAND D A. Ties that last: tie formation and persistence in research collaborations over time. *Administrative Science Quarterly*, 2013, 58(1):69-110.
- [38] LEE J, SONG J, YANG J S. Network structure effects on incumbency advantage. *Strategic Management Journal*, 2016, 37(8):1632-1648.
- [39] WAL A L J T, ALEXO O, BLOCK J, et al. The best of both worlds: the benefits of open-specialized and closed-diverse syndication networks for new ventures' success. *Administrative Science Quarterly*, 2016, 61(3):393-432.
- [40] GHOSH A, ROSENKOPF L. Shrouded in structure: challenges and opportunities for a friction-based view of network research. *Organization Science*, 2015, 26(2):622-631.
- [41] 张巍,任浩. 齐美尔联结何时有助于个体创新:知识异质度的作用. *管理工程学报*, 2016, 30(1):96-107.  
ZHANG Wei, REN Hao. When simmelian ties are conducive to individual innovation: the role of knowledge heterogeneity. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2016, 30(1):96-107. (in Chinese)
- [42] GAVETTI G, WARGLIEN M. A model of collective interpretation. *Organization Science*, 2015, 26(5):1263-1283.
- [43] HEIDL R A, STEENSMA H K, PHELPS C. Divisive faultlines and the unplanned dissolutions of multipartner alliances. *Organization Science*, 2014, 25(5):1351-1371.
- [44] OBSTFELD D. Social networks, the tertius iungens orientation, and involvement in innovation. *Administrative Science Quarterly*, 2005, 50(1):100-130.
- [45] INGRAM P, TORFASON M T. Organizing the in-between: the population dynamics of network-weaving organizations in the global interstate network. *Administrative Science Quarterly*, 2010, 55(4):577-605.
- [46] LAHIRI N. Geographic distribution of R&D activity: how does it affect innovation quality?. *Academy of Management Journal*, 2010, 53(5):1194-1209.
- [47] 刘岩,蔡虹,向希尧. 企业技术知识基础多元度对技术合作的影响:技术创新能力的中介作用. *系统管理学报*, 2016, 25(2):203-210.  
LIU Yan, CAI Hong, XIANG Xiyao. The influence of variety of knowledge based on technology collaboration: the mediating effect of innovation capability. *Journal of Systems & Management*, 2016, 25(2):203-210. (in Chinese)
- [48] 徐可,何楨,王瑞. 技术创新网络的知识权力、结构权力对网络惯例影响. *管理科学*, 2014, 27(5):24-34.  
XU Ke, HE Zhen, WANG Rui. The impacts of knowledge

- power and structure power on network routine in technology innovation network. *Journal of Management Science*, 2014, 27(5):24-34. (in Chinese)
- [49] SMITH W K, LEWIS M W. Toward a theory of paradox: a dynamic equilibrium model of organizing. *Academy of Management Review*, 2011, 36(2):381-403.
- [50] XIAO Z, TSUI A S. When brokers may not work: the cultural contingency of social capital in Chinese high-tech firms. *Administrative Science Quarterly*, 2007, 52(1):1-31.
- [51] ZAHEER A, SODA G. Network evolution: the origins of structural holes. *Administrative Science Quarterly*, 2009, 54(1):1-31.

## Network Closure, Knowledge Base and the Catalyst of Innovation: The Moderating Effect of Dynamic Structural Holes

WEI Long, DANG Xinghua

Economics and Management School, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China

**Abstract:** With Chinese economic development has entered the New Normal, technological innovation network has evolved into an innovative ecosystem with different types of innovation roles. The catalyst of innovation is the key process that relies on the diverse knowledge clique. However existing studies ignored not only the micro composition of knowledge base and network closure, but also the innovation paradox between them. The research on dynamic co-evolution among knowledge base, network closure and the catalyst of innovation is still far from expected. To uncover the catalyst of innovation mechanism in technology innovation network is becoming an important unresolved theoretical problem.

From the perspective of paradox integration, this paper first analyzed not only innovation paradox of network closure between open networks and closed networks, but also knowledge base between specialized knowledge and diverse knowledge. Then this paper investigated the interaction effects between network closure and knowledge base. It also examined the moderating effect of dynamic structural holes. Then an empirical test was conducted by social network analysis and multiple regressions model with strong R&D cooperation intensity industry. Our study empirically analyzed the data from SDC Platinum and UPSTO with the high-tech firms in China.

The results show that: Network closure, knowledge base and dynamic structural holes are the key conditions for the catalyst of innovation. The open-specialized network has significant positive relationship with catalyst of innovation, meanwhile the open-diverse network may cause information overload. The closed-diverse network has significant positive relationship with catalyst of innovation, meanwhile the closed-specialized network may cause over-embedded. The generations of structural holes and closure of structural holes enhance the promotion effect on open-diverse network and closed-specialized network, yet have inhibitory effect on open-specialized network and closed-diverse network. The moderating effect of generations of structural holes can persist yet the moderating effect of closure of structural holes will evade over time.

The above results can reveal the mechanism of innovation catalyst and the best network configuration with different situation. This study provides practical guidance for network organizations to improve their innovation performances so as to construct innovative ecosystem given the context of China.

**Keywords:** technology innovation network; catalyst of innovation; network closure; knowledge base; dynamic structural holes

**Received Date:** November 10<sup>th</sup>, 2016      **Accepted Date:** April 16<sup>th</sup>, 2017

**Funded Project:** Supported by the National Natural Science Foundation of China(71372171, 71572146, 71502090)

**Biography:** WEI Long is a Ph. D candidate in the Economics and Management School at Xi'an University of Technology. His research interests include technological innovation management and complex network. His representative paper titled "The impact of routines replication on technological innovation network evolution" was published in the *Studies in Science of Science*(Issue 1, 2017). E-mail: 15446655@qq.com

DANG Xinghua, doctor in management, is a professor in the Economics and Management School at Xi'an University of Technology. His research interests include governance theory of network organization and technological innovation management. His representative paper titled "Impacts of ambidextrous innovation on network routines in different inter-organizational trust contexts" was published in the *Journal of Management Science* (Issue 4, 2013). E-mail: gsg1005@sina.com

□