

· 特约稿件 ·

“跨界发表”：学术发明家的学术发表 对其专利网络的动态演化影响

王宇航^{1,2} 裴 雷^{1,2} 康乐乐^{1,2*}

(1. 南京大学数据智能与交叉创新实验室, 江苏 南京 210023;
2. 南京大学信息管理学院, 江苏 南京 210023)

摘 要: [目的/意义] “科学—技术”的知识融合和重组过程往往会因为面临一系列权衡抉择, 但学界对于背后的机制还缺乏了解。[方法/过程] 本文采用网络分析的随机行动者模型, 对 2011—2019 年基因泰克公司的 1 339 名专利发明人构成的专利合作网络进行了跨时段的网络演化机制分析。[结果/结论] 本文发现了学术发明家在专利—论文跨界发表时发生的权衡抉择现象, 在学术发明家发表论文后, 学术发明家在专利合作网络中的合作倾向反而会下降。本文从“小世界性”“网络根植性”和“网络中介人”的角度分析了学术发表影响专利网络结构的 3 种演化机制。本研究有助于理解近年来逐渐引起关注的企业从事基础研究的现象, 也为目前企业的科学研究参与提供了实证参考。

关键词: 权衡抉择; 网络结构内生效应; 学术发明家; 随机行动者模型; 专利—论文跨界

DOI: 10.3969/j.issn.1008-0821.2024.10.002

[中图分类号] F272.92 [文献标识码] A [文章编号] 1008-0821 (2024) 10-0018-09

“Boulder-Spanning Publication”: The Dynamic Evolution Analysis of Academic Inventors' Academic Publishing Behavior on Their Patent Networks

Wang Yuhang^{1,2} Pei Lei^{1,2} Kang Lele^{1,2*}

(1. Laboratory of Data Intelligence and Interdisciplinary Innovation, Nanjing University, Nanjing 210023, China;
2. School of Information Management, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: [Purpose/Significance] The process of knowledge integration and recombination in science and technology often faces a series of tradeoffs choice, but the academic community still lacks understanding of the underlying mechanisms. [Method/Process] This article used a stochastic actor-oriented model for network analysis to analyze the cross-temporal network evolution mechanism of patent cooperation network consisting of 1339 patent inventors from Genentech from 2011 to 2019. [Result/Conclusion] This article discovers the trade-off phenomenon that academic inventors make when publishing patents and papers across boundaries. After academic inventors publish papers, their tendency to collaborate in the patent collaboration network actually decreases. This article analyzes three evolutionary mechanisms by which academic publication affects the structure of patent networks from the perspectives of “small world”, “network rootedness”, and “network brokerage”. This study helps to understand the phenomenon of enterprises engaging in basic research that has gradually attracted attention in recent years, and also provides empirical reference for the current scientific research participation of enterprises.

Key words: tradeoffs choice; endogenous effects of network structure; academic inventor; stochastic actor-oriented model; patent-paper boulder spanning

收稿日期: 2024-03-20

基金项目: 国家自然科学基金项目“从驱动到扩散: 基于多元方法的移动应用创新机理研究”(项目编号: 72072087)。

作者简介: 王宇航 (1997-), 男, 博士研究生, 研究方向: 创新管理。裴雷 (1981-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 信息政策、数据治理、信息行为。

通信作者: 康乐乐 (1987-), 男, 副教授, 博士生导师, 研究方向: 创新理论、信息系统设计。

科学发现和技术发明往往属于两个不同的评价体系，前者侧重于一般原则和方法，后者侧重于商业应用。近年来，越来越多的企业发明人选择参与到学术发表活动中。目前，学术界对于这一现象尚没有统一的定义，绝大部分研究使用“学术发明家”称呼同时参与企业专利研发和学术论文发表的发明人^[1-4]。

企业开展科学研究的历史最早可以追溯到 19 世纪 80 年代的德国化学企业，但企业广泛开设实验室的历史要追溯到 20 世纪 20 年代的美国，以 AT&T、通用电气、杜邦和柯达等大公司为代表，纷纷建立了内部研究小组，在进行应用性研究的同时进行长期性的基础研究。而在生物科技领域，风险投资家和科学家赫伯·博耶(Herb Boyer)于 1976 年创立基因泰克(Genentech)，该公司平均每年发表 200 篇论文。作为公司联合创始人，赫伯·博耶将论文视为他们企业研究质量的标志，这证明了他们正在和顶级的学术机构开展合作，并吸引了生物科学领域最优秀的人才加入公司^[5]。谷歌、微软等新兴高科技公司也将自身的科研实力作为企业招聘的重要优势，例如，谷歌招聘首页^[6]中写道：“我们每年发表数百篇研究论文，并在各种场所展示我们的工作成果”。

然而，学术发表会给发明人和所在公司带来怎样的收益，仍然存在许多的争论。从创新绩效的角度，现有研究主要集中在探讨公司在科学界的学术发表对其专利创新绩效的正向影响，大多现有研究肯定了学术发表作为专利技术的信号，对发明人和所在公司的专利绩效有着互补性的提升效果。专利和论文的技术合作，是一种直接有效的方式，可以将学术界的知识吸收和整合到技术应用上来^[7]。知识的边界跨越也可以提高论文的被引用量^[8]。但是在发明人层面，发明人的学术发表是否会影响后续的专利创新行为，仍然有待研究。

因此，本文从发明人角度出发，分析学术发表对专利发明人后续发明行为的影响，同时结合网络分析，从创新网络动态演化的角度分析论文发表对组织内部创新合作网络的影响。

1 研究背景

一些研究认为发明人进行学术发表时，需要面临“权衡抉择”(Tradeoffs Choice)，因为学术发表所需投入的资源、精力和时间会减少发明人在专利

发明上的资源投入。权衡抉择是指，因为学术和技术不同领域研究性质的系统性差异，从机会成本的角度，二者之间的整合会使得发明人选择专注于一方而远离另一方的现象。例如，Sheer L^[9]发现，科学成果和专利成果之间的整合成本可能会带来权衡抉择，即在将学术发现与专利发明相结合的长期成本会降低出版物的数量和质量。正如 Sheer L^[9]所发现，专利发明投资的增加将导致研究生产力的下降，考虑到学术发表转化为专利技术的长期投资成本，学术论文的投入将导致累积性的发明数量的减少。Breschi S 等^[10]同样发现，在学术网络中排名较高的学术发明家，在专利网络中的排名则相对较低(反之亦然)，在两种网络中的节点排名的显著负相关性似乎说明，在一个网络中的中心性地位是以牺牲另一个网络中的中心性地位为代价维持的。

在“科学—技术”的知识融合和重组的大背景下，论文发表和专利申请之间的“权衡抉择”直接影响了未来创新合作的开展。然而，很少关注发明人在学术界的跨学科表现所导致的专利世界的微观结构变化，尚没有研究从技术网络的内生效应角度分析“权衡抉择”的发生机制，例如网络的小世界性、根植性以及技术中介人等网络特征属性。

近年来，对学术发明家权衡抉择的关注点逐渐从宏观(即组织和机构)层面的研究转向了更微观(即个人)层面的分析^[11-12]，特别是随着时间的推移，发明人个人因为注意力转移而发生的创新选择的偏移^[13]；另一方面，先前的研究忽略了跨越边界是一个由结构性特征推动的动态过程，创新网络的内生结构很大程度上决定了网络要素对当地的依赖程度、对外部知识的吸收能力，以及对整体网络的控制能力。因此，近年来以随机面向对象模型等为代表的时序网络模型开始被学界关注，并被用来分析创新合作网络的邻近性、网络内生性、网络节点特性等网络要素在时序网络演化过程中的动态作用机制^[14-15]。综上所述，发明人之间的创新交流与互动是嵌入在一套内部要素互相影响、彼此依赖的复杂创新网络中的。发明人的创新合作行为的选择不可避免地受到网络结构特征的影响。

然而，目前从创新合作网络结构内生性角度分析的创新合作行为演化机制的研究十分有限，少数有限的讨论集中在创新主题的演化^[16-17]，尚缺乏对于跨界创新行为(尤其是企业跨界论文发表)背景

下的学术发明家创新行为的讨论。在本研究中,基于基因泰克公司的专利合作网络,识别出了1 339名专利发明家,以及其中的390名学术发明家(即发表过论文的专利发明家),通过对学术发明家所处专利合作网络的合作对象(小世界性)、科学和技术的认知临近性(根植性),以及学术发明家在论文网络和专利网络之间的中介人属性(中介人)3个角度的分析,本文讨论了专利合作网络内生效应对权衡抉择带来的演化影响。

2 理论基础和研究假设

2.1 网络内生性理论

社会网络理论认为,创新主体对外部知识要素的获取是通过合作网络实现的,创新要素在网络之间的流动与重组是突破创新瓶颈的重要形式。网络结构内生效应,是指网络整体特征和网络中要素之间的联系程度,主要包括网络整体特征以及网络的小世界性、网络根植性、网络中介人等网络要素之间的联系。一方面,合作网络中发明人的网络结构决定其合作的广度和深度,从而影响合作网络的生成与演化;另一方面,作为知识要素载体的发明人所处的社会范围和网络结构又决定着其可能进入的新技术领域的空间和持续力,这样就必须从网络结构的内生性角度解释专利发明人跨界的学术发表对原有合作网络中的合作模式产生的影响^[18]。

2.2 研究假设

2.2.1 小世界性的自我强化机制

网络的小世界性是指联系较为紧密的、存在于创新网络内部的小型网络结构,主要呈现三元闭包网络和多重联系等特征,小世界内合作者的互相关联可以促进网络闭合结构^[19]。大量文献表面表明,发明人的网络结构内生属性(例如网络三元封闭)会导致网络中派系的形成和影响网络的动态演化^[20-21]。第一,当专利网络中的专利发明家与其他发明家有过过往的合作经验时,彼此之间已经建立起共同的惯例及行动标准,可以创造相互学习和转移专业知识的基础,促进专利发明家在后续专利网络中的合作关系的维系;第二,过往的合作经验也意味着维系网络投入的资源相对较高,转向其他网络的沉没成本和机会成本也相较更高^[22]。概言之,在专利发明家的网络中,专利发明家因为过往的合作经验,会更倾向于与有过合作经验的合作对

象开展合作。因此,本研究提出以下假设:

假设 1A: 专利发明家倾向于和以往的合作对象开展合作

假设 1B: 专利发明家倾向于和合作对象的合作对象开展合作

2.2.2 网络根植性的社会维持机制

网络根植性侧重于强调网络节点的行为选择植根于其所处的网络结构与社会环境之中,根植性有助于减少交易成本,如人际关系、信息收集、偏好等,有利于创新网络的形成和扩张^[22]。跨界的知识整合涉及研究人员与发明家的合作,这是两个性质截然不同的群体^[23]。从学术界的认知角度看,学术界和工业界对科学的截然不同的观点可能导致联合研究项目的研究目标和优先事项相互冲突^[7,24]。学术发明家与学术发明家的合作研究也可能导致知识冗余,甚至导致冲突。相同知识类型的替代性可能会降低协作互动中的创造力^[7]。因此,当学术发明家的学术研究领域高度重合时,他们在专利领域后续开展合作效率可能会下降,也就更低的可能维持专利合作关系。因此,本文假设:

假设 2A: 学术认知临近性会降低专利发明家后续建立专利合作的可能性

类似地,相似的学术系统内的影响力,可以降低合作的不确定性,增强合作信任和依存关系,有助于后续的专利开发合作^[7]。因此,如果两名学术发明家在学术网络中有着相似的影响力,他们更容易在技术领域开展后续的合作工作。本文假设:

假设 2B: 具有相似学术网络影响力的学术发明家,在后续的专利网络中,会更可能开展专利合作

而另一方面,从工业界的认知角度看,企业内部的知识合作限制知识溢出到竞争公司的可能性,也减少了交流沟通的成本。公司内部的合作团队之间构成了互补式的知识共享关系,更可能发展出专门的合作关系^[25]。因此,在公司的专利合作网络内,有着相似技术背景的两名专利发明家,更有可能开展后续的合作。本文假设:

假设 2C: 技术认知临近性会提高专利发明人后续建立专利合作的可能性

2.2.3 网络中介人的行为传播机制

中介人(Brokerage)是指在两个群体或两个行为者之间中介信息或资源,使脱节的两个群体或两

个行为者能够进行通信和交换信息和资源^[26]。特定的个体属性可以塑造和重构发明人网络，并形成其创新特征。这些个体特征包括个人属性、网络位置和局部网络结构模式。中介人在本地网络内进行技术传播和知识扩散，有利于区域创新网络的形成^[27]，但是选择以学术或者专利的形式产出研究成果会产生显著的机会成本和偏好效应。

当研究人员必须同时处理这两个问题会增加总体成本，当与一项活动相关的结果相对于其他活动越来越有回报时，科学家就会放弃回报较小的活动^[24]。除了科学发现的直接成本外，就长期发明产出而言，整合也有间接成本。从长远来看，整合降低了研究的生产力，间接减少了发明。随着时间的流逝，如果产生科学突破（即“爬过巨人的肩膀”）变得越来越困难，则可能需要更多的研究努力来产生一个单位的科学产出。因此，本文提出如下假设：

假设 3A：根据学术发表行为自我强化机制，发表论文更多的学术发明家会倾向于更多地发表论文；而发表论文较少的学术发明家以及没有发表论文的发明家，则会倾向于不发表论文

假设 3B：当一名学术发明家是论文网络和专利网络双重网络之间的中介人时，在后续的专利网络中，该名学术发明人会选择减少专利的合作关系

维系

假设 3C：学术发明人在专利网络中的影响力越高，在后续越可能减少论文的发表

2.3 研究设计

本文借鉴桂钦昌等^[14]和顾伟男等^[22]探讨全球科学合作网络的演化态势的思路，在基因泰克公司 2011—2019 年的发明人动态合作网络基础上，加入发明人的论文发表行为，从网络的内生性结构要素（包括网络内生性效应、二方关系组特性、行动者属性）分析专利合作网络的演化趋势。

在 SAOM 模型中，模型可以计算出专利网络中的密度和传递三元组，并以此反映出模型的小世界性特征。其次，本文通过计算发明人学术论文和专利标题的余弦相似度均值反映发明人之间的学术认知和技术认知的临近性程度。

最后，本文按照 Gould R V 等^[28]提供的方法计算学术发明人的网络中介人身份，以及学术发明人在学术网络中的度的值，学术网络基于基因泰克论文合作关系绘制，并使用 sna 包计算中介人身份和网络中的度；同时，RSiena 提供了学术发表行为的变化趋势效应，可以分析发表行为的后续演化趋势。具体变量与假设对应情况如表 1 所示。

表 1 假设与实证检验的对应关系
Tab. 1 Correspondence Between Hypothesis and Empirical Test

变量属性	自变量	因变量	对 应 假 设
小世界性	密 度	合作网络关系	假设 1A：专利发明家倾向于和以往的合作对象开展合作
	传递三元组	合作网络关系	假设 1B：专利发明家倾向于和合作对象的合作对象开展合作
根植性	科学认知临近性	合作网络关系	假设 2A：学术认知临近性会降低专利发明家后续建立专利合作的可能性
	学术网络的度	合作网络关系	假设 2B：具有相似学术网络影响力的学术发明家，在后续的专利网络中，会更可能开展专利合作
	技术认知临近性	合作网络关系	假设 2C：技术认知临近性会提高专利发明人后续建立专利合作的可能性
个体属性	学术发表行为	合作网络关系	假设 3A：学术发表行为自我强化机制，发表论文更多的学术发明家会倾向于更多地发表论文，而发表论文较少的学术发明家以及没有发表论文的发明家，则会倾向于不发表论文
	中介人	合作网络关系	假设 3B：作为中介人的学术发明家，在后续的专利网络中，会选择减少专利的合作关系维系
	专利网络的度	论文发表行为	假设 3C：学术发明家在专利网络中的影响力越高，在后续越可能减少论文的发表

3 操作过程

3.1 样本选择

现有研究表明,双重知识和双重披露的知识发表形式在生物制药领域尤其明显。而基因泰克公司(Genentech)的成立被认为是生物科技研究的起点,其首创的产学研结合的企业研发的模式,至今仍被很多生物技术公司效仿。内外大量关于产学研知识融合的相关研究均会将基因泰克作为代表样本。

以 2011—2019 年为检索期限,我们在 PATSTAT 数据库中选择包含“Genentech”模式词的专利申请地址,根据 PATSTAT 数据库中的记录获得了 1 339 名发明人的专利信息。PATSTAT 数据库根据鲁汶大学提供的消歧算法提供了一套统一化后的人名和人名 ID。之后,选择了 Scopus 数据库中,作者所属机构包含“Genentech”模式词的作者所发表的论文。Scopus 基于人工和内部算法同样提供了统一化后的人名和人名 ID。首先,本文基于使用 Sentences Transformer 提供的预训练模型,计算出基因泰克公司的专利姓名库和论文姓名库之间的余弦相似度,并且取出专利姓名和论文姓名相似度高于 90% 的作者作为同一作者。经过人工比对后,最终确定了 390 位学术发明家,他们之前发表过学术论文,并被 Scopus 数据库收录。在构建时序网络时,本文将 2011—2019 年共计 9 年的专利合作网络划分为 3 个时段:2011—2013 年、2014—2016 年、2017—2019 年,分别记为 T1、T2、T3,使用 3 年的时间窗口平滑每年的专利数量波动。

本文使用单模面向随机参与者的模型(Stochastic Actor-Oriented Model, SAOM)来分析发明人的学术发表和学术声望对专利合作网络中的资源配置塑造。SAOM 可以提供企业、技术网络的多层次机制动态分析,当前被应用于包括产业创新网络、R&D 知识网络、创新合作网络等领域研究^[29-32]。为了检验发明人的学术表现如何影响到专利合作网络的维持、扩散和断裂的假设,在 SAOM 模型中包含了网络小世界性(密度和传递三元组)、根植性(科学认知临近性和技术认知临近性)和网络中介人的节点属性(网络角色)。

出于理论和实质原因,选择了 SAOM,而不是另一种常用的网络分析方法指数随机图模型(Exponential Random Graph Model, ERGM)。这两个模型

在分析焦点上的差异导致我们选择了 SAOM,它为面向行动者(Actor-oriented)的动态演化提供了一种机制,而 ERGM 则专注于面向关系(Tie-oriented)的机制分析。前者无疑更适合我们的研究假设,即专利的科学披露行为在发明人层面产生持续效应。特别是,当网络连接的建立和维护受到资源的限制,并且参与者在建立新关系的同时选择降低与其他参与者建立关系的可能性时,SAOM 模型具有更好的统计有效性^[33]。

3.2 主要变量

本文利用由基因泰克公司的 1 339 个发明人组成的二元数据集来分析影响专利合作网络演化和学术论文发表之间的互动过程。本文使用的单模网络(One-mode Network)分析了连续 3 个时间段(2011—2019)的专利发明人协作网络。在这个模型中,因变量是协作网络,每个发明人每年发表的论文数量被视为行为变量。RSiena 结果提供了专利合作网络和论文发表行为共同演化效应,包括基本效应、行为进化效应和与协变量相关的网络动力学效应。

3.2.1 因变量

专利网络关系(Patent Network),即专利发明人专利合作关系的维持或中断。专利网络数据基于 PATSTAT 数据库收录的基因泰克公司 2011—2019 年的九年间的类型为个人(Individual)的发明人组成专利合作网络(分为 3 个阶段,2011—2013 年、2014—2016 年、2017—2019 年)。网络的邻接矩阵以 0~1 格式表示,其中 1 表示关联,0 表示非关联。

论文发表(Academic Publication),即发明人发表论文的数量。根据 Scopus 数据库,在 2011—2019 年间发表并且附属机构或资助单位为基因泰克公司的论文,被认为是基因泰克公司发表的论文。基因泰克公司论文中所有作者均被记录为发表了一篇论文,根据人名匹配,获得所有基因泰克公司发明人的论文发表数量。时间分期和网络数据一样分为 3 个阶段(2011—2013 年、2014—2016 年、2017—2019 年)。作为连续变量,按照 RSiena 手册中的规范进行了标准化(Standardized)和缩放(Scaled),具体参照 Rulison E 等^[32]对连续变量进行 Z 标准化后,将低于 0 的标准化分数缩放编码为 1,0~1 的标准化分数缩放编码为 2,大于 1 的标准化分数缩放编码为 3。

3.2.2 自变量

网络内生性效应, 包括密度 (Density) 和传递三元组 (Transitive Triads), 可以被认为是模型必须包含的基本因素。他们研究网络本身的结构特征。密度效应测量网络连接的程度, 而传递三元组效应捕捉网络形成传递三元组的趋势, 即每对节点连接的 3 个节点的组。

科学认知临近性 (Science Cognitive Proximity) 使用论文发明人已发表专利的标题的文本相似度, 计算两两之间余弦相似度作为科学认知临近性。因为论文和专利的摘要在文本书写的内容和逻辑上存在较大差异, 因此在本文的分析中选择论文和专利的标题的文本相似性为计算依据。

技术认知临近性 (Technology Geographic Proximity) 使用专利发明人已发表专利的标题的文本相似度, 计算两两之间余弦相似度作为技术认知临近性。

学术发表行为的形状效应 (Shape Effect), 包括一次项 (Linear) 和二次项 (Quadratic), 预测行为因变量的变化。一次项的线性趋势表明行为水平的总体趋势是随时间单调增加 (正参数) 或单调减少 (负参数)。正参数的二次项趋势表明, 随着时间的推移, 行为水平的总体趋势是两极分化的 (也称为自我强化), 负参数二次项趋势则表明行为水平的总体趋势是向平均值回归 (也称为自校正)。

中介人 (Brokerage)。使用 R 中的 sna 包识别出学术发明家在论文合作网络和专利合作网络中的边界跨越的中介人身份, 结果为 0~1 二元变量, 1 说明该作者为跨越专利和学术网络边界的中介人。在 SAOM 模型中使用 egoX 效应表示该变量的网络动力学效应。egoX 效应表示一个特定的属性是导致一个人建立更多 (正参数) 还是更少 (负参数) 的关系。

学术网络度 (Academic Network Degree)。使用 R 中的 sna 包识别出学术发明家在学术网络中的度的数值, 反映了学术发明家在学术网络中的影响力。作为连续变量, 同样按照 Rulison E 等^[32]的方法缩放和标准化。在 SAOM 模型中, 同样使用 egoX 效应表示该变量的网络动力学效应。

论文发表度效应 (Patent Network Degree)。RSiena 在分析时会自动计算专利网络中的节点所具有的专利网络的度对节点发表论文行为的影响。

4 模型结果

4.1 数据描述

表 2 和表 3 提供了专利合作网络的统计特征的描述性分析。表 2 中, 平均度在 3 个时期内略有下降, 但没有显示出显著的变化, 这表明在合作发明人网络中, 每个发明人往往平均保持 3~5 个合作者。网络密度显示合作者的网络并不密集。而边的数量在 T1~T2 时期相对稳定, 在 T2~T3 时期有一定减少。平均聚类系数、平均度中心性、平均接近中心性在 T1~T3 期间整体呈下降状态, 说明基因泰克的专利合作网络结构整体趋势是在变得稀疏。

表 2 2011—2019 年基因泰克专利合作网络的统计特征

Tab. 2 Statistical Characteristics of Genentech Patent Cooperation Network from 2011 to 2019

网络特征	2011— 2013 年	2014— 2016 年	2017— 2019 年
节点个数	1 339	1 339	1 339
密 度	0.004	0.004	0.003
边的数量	3 673	3 246	2 304
平均度	5.494	4.853	3.462
平均聚类系数	0.474	0.394	0.338
平均度中心性	0.004	0.004	0.003
平均接近中心性	0.055	0.049	0.026

表 3 中, Jaccard 系数反映了不同轮次网络变化的稳定性, 为模拟网络演化, SAOM 模型要求 Jaccard 系数至少大于 0.2, 理想情况大于 0.3, 在本文中该系数分别为 0.39 和 0.37, 符合模型要求。

表 3 2011—2019 年基因泰克专利合作网络演进的描述性分析

Tab. 3 Descriptive Analysis of the Evolution of Genentech Patent Cooperation Network from 2011 to 2019

时期	专利合作网络“合作关系”的变化				杰卡德 系数
	0→0	0→1	1→0	1→1	
T1~T2	890 815	1 303	1 730	1 943	0.39
T2~T3	891 740	805	1 747	1 499	0.37

表 4 则提供了主要变量的描述性统计。

4.2 发明人专利网络的演化机制

基于 R 语言中的 RSiena 程序运行 SAOM 模型, 根据专利合作网络的无向网络图。具体而言, 网络

表 4 主要变量的描述性统计
Tab. 4 Descriptive Statistics of the Main Variables

自变量	中介人	学术网络度	论文发表 T1	论文发表 T2	论文发表 T3	最小值	最大值	均值	标准差
中介人	1					0	1	0.21	0.41
学术网络度	0.8***	1				1	3	1.24	0.59
论文发表 T1	0.75***	0.8***	1			1	3	1.24	0.57
论文发表 T2	0.73***	0.85***	0.78***	1		1	3	1.22	0.55
论文发表 T3	0.65***	0.8***	0.63***	0.78***	1	1	3	1.92	0.54
科学认知临近性	-	-	-	-	-	0	1	-	-
技术认知临近性	-	-	-	-	-	0	1	-	-

演化被视为由两个随机子过程构成：一是速率函数 (Rate Function)，其被用于决定行动者改变关系的机会。行动者 i 有机会改变联系，其选择改变了现有联系变量 x_0 ，这会导致新的状态 x ， $x \in C(x^0)$ 。

$$P\{X(t) - x^0\} = p_i\{x^0, x, v_i, w_{ij}\} = \frac{\exp(f_i(x^0, x, v_i, w_{ij}))}{\sum_{x \in C(x^0)} \exp(f_i(x^0, x, v_i, w_{ij}))} \quad (1)$$

式中：目标函数 f_i 表示行动者的偏好和所受到的约束，网络联系的变化可以通过节点层面的效应函数进行模拟。其表达式为：

$$f_i(x^0, x, v_i, w_{ij}) = \sum_k \beta_k S_{ik}(x^0, x, v_i, w_{ij}) \quad (2)$$

式中： $f_i(x^0, x, v_i, w_{ij})$ 表示目标函数； $S_{ik}(x^0, x, v_i, w_{ij})$ 为效应函数； x^0 表示当前网络状态； x 表示网络的潜在新状态； v_i 表示行动者的个体属性特征； w_{ij} 表示行动者间的二方关系组特性。

表 5 提供了 SAOM 模型的拟合结果。对模型拟合结果进行检验的结果显示，该估计值的绝对 t 比 (All Convergence t Ratios) 低于 0.1，显示出良好的收敛性。最终的模型实现了 0.09 的总体收敛 (Overall Maximum Convergence Ratio)，低于最大 0.25 的阈值。模型的良好收敛性表明估计是充分的。

4.2.1 专利网络的网络小世界性

表 5 中的密度和传递三元组提供了基本的网络结构效果。基于密度估计的共同发明人网络的评估函数具有显著的负效应，这表明，尽管研究人员有动机通过进行新的互动来分享研究知识，但他们更有信心与之前已经合作过的现有共同发明人的共同发明人建立联系。同时，传递性三元效应的估计值为显著的正值，这说明了发明人的合作选择有明显的择优连接倾向，即发明人与合作对象的合作者更

二是目标函数 (Objective Function)，即行动者 i 基于最大化目标函数选择创建联系或终止联系。使用 R 语言软件中的 RSiena 程序包来运行 SAOM 模型，模型方程为：

表 5 SAOM 模型拟合结果
Tab. 5 Fitting Results of SAOM

模型效应	参数	标准误
网络速率 T1	9.597	(0.368)
网络速率 T2	7.494	(0.250)
密度	-3.671***	(0.019)
传递三元组	0.444**	(0.007)
科学认知临近性	-0.162	(0.181)
技术认知临近性	0.265***	(0.081)
中介人 ego 效应	-1.051***	(0.165)
学术网络度 ego 效应	0.505***	0.092
论文发表速率 T1	1.164	(0.114)
论文发表速率 T2	1.104	(0.122)
论文发表一次项形状	-3.627***	(0.208)
论文发表二次项形状	1.953***	(0.131)
论文发表度效应	-0.080*	(0.033)

注：* 表示 $p < 0.05$ ；** 表示 $p < 0.01$ ；*** 表示 $p < 0.001$ 。

有可能成为朋友。模型结果符合假设 1A 和 1B。

4.2.2 专利网络的社会根植性

虽然模型的参数显示科学认知临近性提供了负向效应，但是参数并不具有统计学意义的显著性，因此模型没有提供充足的证据支持假设 2A。同时，模型显著的正的学术网络度 ego 效应说明，具有相似学术网络影响力的学术发明家，在后续的专利网

络中, 会更可能开展专利合作, 符合假设 2B。发明人的技术认知临近性呈现出显著的正向效应, 说明发明人更倾向于和自己在技术知识基础距离邻近的对象开展合作。这符合假设 2C。

总的来讲, 我们的结果表明了一种可能性, 即认知接近度的技术维度和科学维度有不一样的影响性: 技术语言方面的高度相似性似乎对有效沟通至关重要, 但在技术推广领域, 科学认知维度似乎不能显示出高水平的差异, 因为这会破坏技术合作上的可能性(这往往被认为是重要的知识接触的基本要求)。这方面结果还有待进一步的研究。

4.2.3 专利网络的个体属性

“一次项”和“二次项”提供了学术发表的行为倾向。就学术发表行为的一次项线性形状效应而言, 人们普遍倾向于降低学术发表(学术发表行为负线性效应), 这可能是因为样本中的大多数发明人在出版行为上的得分低于平均值。学术发表行为的二次项效应是积极而显著的, 表明出版行为的变化是自我强化的; 论文发表价值较高的发明人会进一步增加, 而论文发表价值较低的发明人则会进一步减少他们的科学发表行为。模型结果符合 3A。同时, 学术网络中中介人也表现出类似的权衡抉择效应, 作为中介人的学术发明家在后续的专利网络合作中, 会减少专利合作的倾向。模型支持假设 3B。同时, 在专利网络内有着更高度的学术发明人, 他们在后续更可能减少论文的发表行为, 这也符合假设 3C。总体而言, 专利网络中的个体属性特征基本符合权衡抉择的理论假设。

5 分析与讨论

本文针对学术发明家跨界发表论文的后续专利合作选择, 从专利合作网络的内生性结构机制出发, 分析了发明家学术发表行为带来的专利合作网络的结构重组。从社会网络的小世界性、根植性、中介人特性等网络内生性结构特性, 分析了专利网络和学术表现之间的交互演化作用, 为专利—论文跨界时的权衡抉择现象提供了新的解释角度。

本研究的主要研究发现包括: 第一, 合作网络具有典型的小世界性和自我强化性。这一方面是因为专利合作的隐含知识使得合作的建立有一定成本和惰性, 导致其难以和陌生的发明人建立联系。小世界网络的特性意味着发明家可以通过少数中介步骤连接到网络中的其他节点, 这有利于快速的知识

传播和创新想法的扩散。然而, 由于建立新合作需要投入时间和资源, 这种网络结构也导致了与现有合作伙伴继续合作的倾向, 从而产生自我强化的效果。这表明创新管理中需要采取措施促进网络开放性和新合作关系的建立, 以避免过度的封闭和惯性。第二, 发明人的科学认知临近性和技术认知临近性有着不同的社会维持效应。技术认知的临近性可以提高发明人合作的可能性。这一点突显了在管理创新网络时要重视发明人之间技术知识和技能的匹配。虽然模型结果并不显著, 但结果在一定程度上说明随着科学认知距离的减少, 知识的技术合作所需克服的阻力和难度则在增加。研究结果暗示科学知识的合作门槛可能随知识距离的缩短而增加, 这可能是因为更深入的科学理解需要更高层次的沟通和共识。第三, 学术发表行为具有焦点性和差异性特征。一方面, 发表行为的自我强化机制使得绝大部分的论文发表是由高产的“学术发明家”创造的; 另一方面, 发表行为的带动作用对于在学术界低产的发明人更加明显, 这说明以后的发明人扶持应当聚焦明星学术发明人, 优化创新网络的信息生态配置, 进而提高学术界向工业界的知识扩散的成果^[34]。此外, 对于那些在学术界产出较少的发明家而言, 他们的发表行为可能对创新网络的整体表现具有更大的影响, 在促进这部分发明人的成长上, 应当给予更多的关注和支持。

本研究的核心贡献包括: 第一, 从网络内部结构演化的角度, 本文对学术发明家的选择偏好和抉择权衡效应做出了机制解释。第二, 结合学术发明家在学术界和工业界的网络位置, 本文丰富了学术界对于企业从事基础研究这一新兴现象的理解, 并且提供了初步的管理学讨论, 可以为企业未来研发合作伙伴的选择提供参考。

本文也还存在一些不足与局限。经验结果不应被解释为因果关系, 本文的分析主要是基于基因泰克这一生物领域代表性企业内部的创新经验开展的, 因此有必要根据进一步的研究拓展和检验相关结论。未来研究可以考虑专利的论文发表这一创新行为在不同类型发明人表现出的异质性以及其对发明人后续创新表现的具体影响。

参 考 文 献

- [1] Stern S. Do Scientists Pay to Be Scientists? [J]. *Management Science*, 2004, 50 (6): 835–853.

- [2] Gittelman M, Kogut B. Does Good Science Lead to Valuable Knowledge? Biotechnology Firms and the Evolutionary Logic of Citation Patterns [J]. *Management Science*, 2003, 49 (4): 366-382.
- [3] Bonaccorsi A, Thoma G. Institutional Complementarity and Inventive Performance in Nano Science and Technology [J]. *Research Policy*, 2007, 36 (6): 813-831.
- [4] Sauermann H, Roach M. Science PhD Career Preferences: Levels, Changes, and Advisor Encouragement [J]. *Plos One*, 2012, 7 (5): e36307.
- [5] Genentech. The Paper [EB/OL]. <https://www.gene.com/stories/the-paper/>, 2024-06-10.
- [6] Google. Google Research [EB/OL]. <https://research.google/>, 2024-06-10.
- [7] Colen L, Belderbos R, Kelchtermans S, et al. Reaching for the Stars: When Does Basic Research Collaboration Between Firms and Academic Star Scientists Benefit Firm Invention Performance? [J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2022, 39 (2): 222-264.
- [8] 郑碧丽, 侯剑华. 边界跨越对科学论文引文量的影响: 基于因果推断的分析 [J]. *图书情报知识*, 2023, 40 (2): 131-140.
- [9] Sheer L. Sitting on the Fence: Integrating the Two Worlds of Scientific Discovery and Invention Within the Firm [J]. *Research Policy*, 2022, 51 (7): 104550.
- [10] Breschi S, Catalini C. Tracing the Links between Science and Technology: An Exploratory Analysis of Scientists' and Inventors' Networks [J]. *Research Policy*, 2010, 39 (1): 14-26.
- [11] 王崇锋, 巩杰, 晁艺璇. 发明人网络嵌入性对创新产出影响研究——基于网络演化特征的中介机制 [J]. *科技管理研究*, 2019, 39 (24): 1-7.
- [12] 贺超城, 黄茜, 徐雨舒, 等. 基于多维邻近性的药领域科技创新主导力扩散仿真研究 [J/OL]. *现代情报*: 1-30 [2024-03-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1182.G3.20240102.0956.002.html>.
- [13] Zobel A K, Falcke L, Comello S D. A Temporal Perspective on Boundary Spanning: Engagement Dynamics and Implications for Knowledge Transfer [J]. *Organization Science*, 2024, 35 (2): 474-495.
- [14] 桂钦昌, 杜德斌, 刘承良, 等. 基于随机行动者模型的全球科学合作网络演化研究 [J]. *地理研究*, 2022, 41 (10): 2631-2647.
- [15] 吴江, 黄晓, 朱侯, 等. 图情学科中的仿真模拟: 方法、应用现状与展望 [J]. *图书情报知识*, 2022, 39 (2): 109-121.
- [16] Purwitasari D, Fatichah C, Sumpeno S, et al. Identifying Collaboration Dynamics of Bipartite Author-Topic Networks with the Influences of Interest Changes [J]. *Scientometrics*, 2020, 122 (3): 1407-1443.
- [17] Chen H, Song X, Jin Q, et al. Network Dynamics in University-Industry Collaboration: A Collaboration-Knowledge Dual-Layer Network Perspective [J]. *Scientometrics*, 2022, 127 (11): 6637-6660.
- [18] 付雅宁, 刘凤朝, 马荣康. 发明人合作网络影响企业探索式创新的机制研究——知识网络的调节作用 [J]. *研究与发展管理*, 2018, 30 (2): 21-32.
- [19] Glückler J. Economic Geography and the Evolution of Networks [J]. *Journal of Economic Geography*, 2007, 7 (5): 619-634.
- [20] Crescenzi R, Nathan M, Rodríguez-Pose A. Do Inventors Talk to Strangers? On Proximity and Collaborative Knowledge Creation [J]. *Research Policy*, 2016, 45 (1): 177-194.
- [21] Tóth G, Lengyel B. Inter-Firm Inventor Mobility and the Role of Co-Inventor Networks in Producing High-Impact Innovation [J]. *The Journal of Technology Transfer*, 2021, 46 (1): 117-137.
- [22] 顾伟男, 刘慧, 王亮. 国外创新网络演化机制研究 [J]. *地理科学进展*, 2019, 38 (12): 1977-1990.
- [23] Allen T J, Others. Managing the Flow of Technology: Technology Transfer and the Dissemination of Technological Information within the R&D Organization [J]. MIT Press Books, 1984, 1.
- [24] Martínez C, Parlane S. Academic Scientists in Corporate R&D: A Theoretical Model [J]. *Research Policy*, 2023, 52 (5): 104744.
- [25] Thompson T A, Purdy J M, Ventresca M J. How Entrepreneurial Ecosystems Take form: Evidence from Social Impact Initiatives in Seattle [J]. *Strategic Entrepreneurship Journal*, 2018, 12 (1): 96-116.
- [26] Burt R S. Brokerage and Closure: An Introduction to Social Capital [M]. Oxford University Press, 2007.
- [27] Broekel T, Mueller W. Critical Links in Knowledge Networks - What about Proximities and Gatekeeper Organisations? [J]. *Industry and Innovation*, 2018, 25 (10): 919-939.
- [28] Gould R V, Fernandez R M. Structures of Mediation: A Formal Approach to Brokerage in Transaction Networks [J]. *Sociological methodology*, 1989: 89-126.
- [29] Ter Wal A L J, Boschma R A. Applying Social Network Analysis in Economic Geography: Framing Some Key Analytic Issues [J]. *The Annals of Regional Science*, 2009, 43 (3): 739-756.
- [30] Maggioni M A, Uberti T E. Networks and Geography in the Economics of Knowledge Flows [J]. *Quality & Quantity*, 2011, 45 (5): 1031-1051.
- [31] Ter Wal A L. The Dynamics of the Inventor Network in German Biotechnology: Geographic Proximity Versus Triadic Closure [J]. *Journal of Economic Geography*, 2014, 14 (3): 589-620.
- [32] Giuliani E. Network Dynamics in Regional Clusters: Evidence from Chile [J]. *Research Policy*, 2013, 42 (8): 1406-1419.
- [33] Block P, Stadtfeld C, Snijders T A B. Forms of Dependence: Comparing SAMOs and ERGMs from Basic Principles [J]. *Sociological Methods & Research*, 2019, 48 (1): 202-239.
- [34] 张长亮, 李竞彤, 郭宇. 网络社群用户信息共享模式研究 [J]. *现代情报*, 2020, 40 (4): 59-70.

(责任编辑: 郭沫含)