

社会网络分析方法在专利分析中的应用研究进展

陈云伟^{1,2} 方曙¹

¹中国科学院国家科学图书馆成都分馆 成都 610041 ²中国科学院研究生院 北京 100049

〔摘要〕从专利引用、专利合作和专利技术主题关联三个角度出发,对社会网络分析方法在专利分析中的应用研究进展进行梳理,侧重对新概念、新思路、新指标、新算法等进行分析与总结,并对其功能与应用前景进行讨论。考察的主要网络节点包括专利文献本身、发明人、专利权人、主题词、专利分类号等,连接关系包括合作、引用、共现或同现等。

〔关键词〕社会网络分析 专利 专利权人 发明人 引文网络 合作网络

〔分类号〕G350

Application of Social Network Analysis (SNA) on Patents Networks Analysis

Chen Yunwei^{1,2} Fang Shu¹

¹Chengdu Branch of the National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041

²Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

〔Abstract〕The purpose of this paper was to conclude the development of social network analysis (SNA) using on patents networks analysis through the following three aspects: patent citation networks, patent collaboration networks and patent technical themes correlation networks. This paper emphasized on the new concepts, ideas, indicators and algorithms, and discussed the functions and prospects of SNA on patents analysis. The nodes of the networks the paper discussed included patents, inventors, applicants, keywords and patent classifications, while the edges were the links of citations, collaborations occurrence or co-occurrence.

〔Keywords〕social network analysis patent assignee inventors citation network collaboration network

社会网络分析(social network analysis, SNA)是对社会关系结构及其属性加以分析的一套规范和方法^[1],在社会学研究中已经得到广泛的应用,然而,将社会网络分析方法引入专利分析的国内外研究工作相对较少。2008年,德国学者 Sternitzke 等指出,社会网络分析方法才刚刚开始进入专利分析领域,应用前景广阔^[2]; Chang 等指出,专利网络分析是一种先进专利分析技术,由 Yoon 和 Park 在 2004 年正式提出^[3-4]。

1 专利引用网络研究进展

专利引用网络中的“节点”即各件专利,“连接”即在专利引用网络中各专利自引和他引的关系,包括引用连接和被引连接^[5]。Hsueh 等指出,基于网络分析的引用分析是专利引文分析的一种替代方法^[6]。基于专利文献的引用关系,可以延伸出对专利权人和发明人之间的引用关系,以上专利文献、专利权人和发明人等的引用都可归类为“直接引用”网络;此外,还可以构建专利文献、专利权人、发明人等的共引、专利耦合

网络等。

1.1 专利引文网络

专利引文网络是专利引用网络研究的主体,可以用于研究不同学科主题之间的跨学科引用网络或学科内部的引用网络,包括随着时间发展的演进网络或知识流网络。例如, Wartburg 等^[7]通过多级专利引文分析方法对技术演进进行了研究; Gress 通过对 1963 - 2002 年美国专利的引文分析发现,随着时间的增长专利引用及专利数呈现出爆炸式增长,引文网络出现块状(clumpy)特征,即一些引文网络区域连线紧密,而有些区域则稀疏,其原因之一是由于不同学科类别之间存在引用关系,进而导致块状结构的形成^[8]。

目前针对专利文献引文网络中间中心性(betweenness)较高的节点的重要性研究还非常少见,直到近几年,在网络结构和演进层面的工作才逐步增多。Hung 等在 2008^[9]和 2010 年^[10]分别基于 LCD 和 RFID 专利,对专利引文网络的小世界现象的研究发现,专利引文网络确实可以成为小世界网络,此外,专利引文网络还具有幂律分布特征。

专利直接引文网络是一种有向网络, Smilkov 等对美国专利引文有向网络的 rich-club 和 page-club 系数的研究发现, 核心专利更倾向于被其他核心专利所引用^[11]。Bommarito 等指出, 专利引文网络是一种重要的无圈有向图(acyclic digraphs), 对通过学术引用的思想传播、创新传播研究具有重要价值, 他们利用距离测量(distance measure)和层次聚类算法(hierarchical clustering algorithm)对美国专利动态引文网络进行了分析^[12]。

1.2 专利权人引用网络

通过对专利权人的引用网络进行分析, 可以检测核心专利权人、发现潜在竞争对手等。例如, Sternitzke 等研究发现, LED 领域专利权人引用网络分析可以用于解释专利权人的市场行为, 如合作和专利侵权诉讼等^[2]。

通过专利权人耦合网络的研究, 可以发现引用相同专利的专利权人组合, 进而对不同专利权人进行分类。例如, Huang 等利用专利耦合方法对台湾高技术公司的引用网络分析发现, 可以将台湾高技术企业聚类成 6 大簇, 包括半导体、计算机外围设备、扫描仪、笔记本/显示器、系统和 IC 设计/封装^[13]。

1.3 专利引证论文网络

早在 1995 年, Narin 等通过针对美国专利引证科学论文的研究发现, 美国技术与公共科学之间的关联越来越强; 然而 Meyer 在 2000 年针对纳米技术的研究却发现, 基于专利引文分析很难发现被引论文与引证专利之间的直接连接^[14]。但科学计量学界对此方面的研究热情却依旧不减, 如 Acosta 等通过专利引证论文对西班牙科学-技术流进行了研究^[15]。最近, 有少量工作开始采用社会网络分析方法对专利引证论文进行研究, 如 Gao 等^[16]采用社会网络分析方法, 分析了美国专利数据库中的中国专利所引用的中国科技期刊共引网络。

1.4 专利耦合网络

文献耦合研究最初用于论文研究, 最早提出将文献耦合思想用于专利计量分析的是 Narin^[17], 有代表性的工作包括: Huang 等利用专利耦合方法对台湾高技术公司的引用网络分析^[13]; Kuusi 等利用专利耦合网络对纳米技术领域的技术预测研究^[18]。

与专利耦合研究原理相近, Weng 等在专利引用网络中引入了结构等价(structural equivalence)的概念, 采用块模型(blockmodel)对专利进行分组研究。所谓结构等价, 即指在专利引用网络中拥有相同位置的两

件专利拥有结构等价性, 此时拥有结构等价性的两件专利会被分到一个块(block)中, 一般情况下拥有结构等价性的两件专利在技术上相近或拥有相近的知识基础^[19]。

1.5 专利引用分析用于研究知识流

知识流研究包括三个层面: 国家层面的知识流(macro)、工业层面的知识流(meso)和企业层面的知识流(micro), 目前研究较多的是 macro 和 micro 两个层面, 如 Shih 等基于专利引用分析了国家之间的技术分布及知识流情况^[20], 而对 meso 层面的研究较少^[21]。

理解工业间的知识流有助于构建知识簇和设计国家创新系统(national innovation system, NIS), 知识流可以分为实体知识流(embodied knowledge flow)和无形知识流(disembodied knowledge flow), 前者通过包含新技术的机器设备或元件的购买进行流动, 后者则通过人员流动和研究溢出而产生^[22]。基于专利引文的知识流分析则属于无形知识流的范畴, 也是目前专利引文分析的一个重要研究领域, 下面介绍两个富有代表性的研究成果。

Hu 等采用双指数知识扩散模型研究东亚国家之间的知识流发现, 在东亚 7 国或地区(中国大陆、香港、韩国、马来西亚、新加坡、中国台湾和泰国)中, 中国台湾已成为东亚经济知识扩散的源头, 韩国和新加坡对台湾专利的引用频率比对美国专利的引用频率更高, 台湾对韩国专利的引用高于对日本和美国专利的引用, 中国和马来西亚对台湾和韩国专利的引用高于对日本和美国专利的引用^[23]。

Igami 等对纳米技术欧洲专利的引用演进网络进行分析发现, 不同纳米技术子领域之间的知识流现象比较少, 每个子领域的发展似乎更多地依赖本领域自身的推动^[24]。

1.6 功能与作用辨析

尽管上述专利引用分析方法在一定程度上能反映出专利文献、专利权人或发明人的技术影响力、研发竞争行为等特征, 但如果要借助这些信息直接对机构的技术影响力进行判断, 还需慎重。首先, 尽管一些研究结果证明专利引用可以用于表征知识流^[25], 但也有针对专利引用分析作为专利分析指标的批评^[26]。其次, Alcaicer 和 Gittelmann 强调, 美国专利商标局和欧洲专利局的审查员在审查发明专利申请时的方法完全不同, 从而对每件专利的相对引文数量产生了强烈的影响^[27]。而且, 美国专利商标局与欧洲专利局所依据的不同法律也影响了专利引文的数量。Michel 和 Bettels

指出,美国专利商标局的引用数量是欧洲专利局的3倍^[28]。最后,研究人员还发现,发明人更倾向于引用地理位置相对接近的发明人的专利,这也会影响到引用数据的变化^[25]。

2 专利合作网络研究进展

2.1 专利权人合作网络

度数相关性(degree correlation)是研究网络结构的有效工具之一,Inoue等对日本专利权人的合作网络分析发现,专利权人合作网络的节点度数之间呈现零相关;此外,节点度数分布满足幂律分布特征,节点簇系数之间呈现负相关^[29]。

在研究网络的节点度数分布特征时,通常情况下,研究人员采用最小二乘法用于拟合和估算幂律分布的斜率,该方法有两个致命的瑕疵:①人们无法确定节点度数分布是否真正满足幂律分布;②无法确定哪部分分布符合幂律分布特征。为此,Clauset等^[30]提出了一种将最大似然法和基于K-S检验的适合度测试方法整合在一起的方法,首次解决了上述两个难题。

专利权人合作网络具有无标度网络的特征,在研究无标度网络的增长模型时,Barabási和Albert^[31]在1999年提出的偏好依附模型(preferential attachment model)最为常用,新节点选择现有节点进行连接的概率是 $\Pi(k_i) = k_i / \sum k_i$,其中 k_i 是节点的度数。基于此模型得到的节点分布函数满足 $p(k) \propto k^{-3}$ 。然而,该增长模型并未考虑连接的距离因素,为此,Inoue等^[32]在2010年又采用对偏好依附模型的改良增长模型(growth model)对日本专利权人合作网络的发展进行了研究。他们采用的算法是:从一个拥有 m_0 个节点的完整网络出发不断增加节点,增加 m 个连接,连接增加的概率公式为 $\Pi(k_i, d_{ij}) \propto k_j^\alpha / d_{ij}^\sigma$,其中 i 代表新增节点, j 代表已有节点, k_j 是节点 j 的度数, d_{ij} 是节点 i 和 j 之间的地理距离, α 和 σ 是常数。

2.2 发明人合作网络研究进展

发明人合作网络的研究包括发明人在合作网络中所处的位置研究、发明人合作网络的小世界现象与创新的关系研究等。主要的研究方向包括以下几个方面:

- 发明人合作网络的小世界现象。Fleming等采用多维分析方法研究发现,发明人之间合作网络的小世界现象促进了科技创新^[33]。Chen等通过对1975-2006年16个国家的美国专利研究发现,主成分的规模越大将明显增强国家的创新生产力,发明人合作网络

的小世界现象有助于国家创新,但这种正面作用仅限于一定范围内,超过这个范围则起到反作用,此时路径长度与创新产出能力成反比^[34]。

- 发明人合作网络的地理空间分布差异性及其关系研究。Wilhelmsson发现,发明人合作网络的空间分布具有非均匀性,其空间分布受就业密度和产业多样性影响,在人口密集、产业多样性丰富的区域更易形成发明人合作网络。然而,市场规模却对发明人合作网络有负面影响,在大都市地区发明人合作网络相对减弱,人口稠密区的研发人员不仅倾向于更多的合作,而且还会和空间距离更远的合作者进行合作^[35]。

- 有关发明人合作网络的研究被用于分析不同簇的拓扑学特征。例如,He等对美国新泽西州和田纳西州电信企业的发明人合作网络的基本拓扑学结构和网络演进情况的研究发现,地理区间簇的拓扑学特征直接决定了发明人合作网络的特征;同时,发明人合作网络的结构特征也会随着区域经济和社会条件的改变而变化^[36]。Lobo等采用社会网络分析方法对1977-2002年之间美国不同城市发明人之间的跨地区合作以及城市内发明人凝聚现象进行的研究发现,城市内发明人的凝聚现象对专利产出的贡献要明显强于发明人合作网络的结构特征。同时还发现,孤立发明人的凝聚对专利产出有正面促进作用,而合作网络的密度对专利产出起负面作用^[37]。

- 在发明人合作网络分析中,更多的关注点集中在针对网络节点度数的研究上。特别是中心节点对知识传播所起到的关键作用,如中心节点对新的弱连接产生的影响等;反过来也可以通过发明人合作网络的社会网络分析,发现中心节点,包括度数中心节点、邻接中心性节点和中间中心性节点,位于中心节点位置的发明人多数都是优秀的工程师,他们位于内部交流网络的核心位置^[38]。例如,有研究发现,位于不同发明人团队之间或研发部门之间的中间发明人具有更高的专利产出数^[39]及被引频次^[40]。说明处于不同研发背景团队之间中介地位的发明人受益于团队间信息流所带来的益处,对其专利产出的数量和质量产生正面影响。同时发明人合作网络的中心性节点也具有更高的被引频次特征^[40]。Breschi等通过对科学家与发明人合作网络的分析,也发现了那些链接科学家合作网络与发明人合作网络两个簇的桥点在科技创新中的重要作用^[41]。

- 基于发明人合作网络的演进分析是当前的研究热点之一。Fleming等以美国1975-2002年的发明专利数据为基础,研究了硅谷和波士顿地区发明人合

作网络的演进情况,发现硅谷发明人合作网络在 1989 年出现了急剧的聚集现象,而在波士顿地区的聚集现象则晚于硅谷,且聚集程度不如硅谷剧烈^[42]。通过与合作网络中的关键发明人进行面谈,发现硅谷新建公司间的持续人员流动促进了网络的快速聚集现象。该项研究采用逆向时间序列方法,采取敲除每件专利来观察成分的分裂指数(D),进而分析发明人合作网络演进过程中起到决定性作用的专利。

2.3 检测合作网络的转型

Bettencourt 等^[43]在对 8 个科学领域从产生到成熟的作者合作网络进行演进分析时,引入了尺度指数(scaling exponent)的概念($edges = A(nodes)^\alpha$,其中 α 为尺度指数),用于评估合作网络的转型。虽然专利网络与论文网络存在不同的特征^[44],但将尺度指数引入专利合作网络的研究仍具有实际意义,Chen 等^[45]在对中国科学院院属研究所的专利合作网络进行演进分析时,引入了尺度指数,研究发现,与上述 Bettencourt 等分析的 8 个科学领域不同,中国科学院院属研究所的专利合作演进网络拥有更大的 α 值。

3 专利主题网络研究进展

专利文献的分类体系,如国际专利分类号(IPC)、美国专利分类号(USPC)、德温特专利分类号(DPC)等是分析专利技术主题的主要切入点。

3.1 专利主题词网络

Yoon 等^[3]利用专利主题词向量的欧几里得距离计算专利文献之间的距离,建立专利间的关联关系,采用以下量化技术进行主题网络分析:

- 技术中心度指数(technology centrality index, TCI),用于发现整个网络或簇水平的相对重要专利。 $TCI_i = C_i / (n - 1)$ ($C_i = \sum r$ 指专利 i 的连接数, n 指专利数目)。某专利的 TCI 值越高,说明该专利对其他专利的影响越大。

- 技术周期指数(technology cycle time index, TCT),用于测定整个网络的技术发展趋势。 $TCT_i = \text{Median}(j) \{ |T_i - T_j| \}$ (T_i 和 T_j 分别指专利 i 和 j 的申请日期),TCT 即两件相关专利 i 和 j 申请时间差的中位数。

- 密度指数(density index, DI),用于对不同的簇进行比较,发现每个簇的网络连接特征。 $DI = T_c / [n_c(n_c - 1)]$ (T_c 和 n_c 分别代表簇中连接和节点的数量),DI 测量的是每个簇的内部连接性。簇的 DI 值越

高,说明拥有越多的连接技术包,反之亦然。

Chang 等利用该算法研究了碳纳米管场发射显示器(CNT-FED)领域的专利聚类和发现核心专利^[4]。

3.2 主题相似度网络

通过基于专利分类号的分布,可以计算不同经济体、不同地区和不同专利权人的技术相似度。例如, Hu 等采用非向心相关性(un-centered correlation)来研究东亚不同国家之间基于美国专利分类号的相关性^[26]。

此外, Dou 等基于欧洲禽流感专利,研究了各种相关 IPC 小类之间的关联强度^[46]。杨璧嘉等则基于 IPC 计算出专利之间的 Pearson 相关系数,再利用 Pajek 进行社会网络可视化,结果用于技术路线图研究^[47]。

4 社会网络分析在专利分析中应用前景展望

将社会网络分析方法应用于专利分析中具有重要意义,根据本文的综述,笔者试提出未来专利社会网络分析的研究重点,供讨论:

- 用于鉴别关键发明人或专利权人、发掘竞争对手。通过专利合作、技术主题关联和引用网络分析,可以发现处于网络重要位置的专利权人或发明人,这些重要的节点可以是中心(度数中心或中间性中心)节点,也可以是桥点。此外,高被引专利可以用来评价专利丛林,引文网络中关系近的节点说明其技术相关,若在引文网络中相连的两个节点在合作网络中没有合作,说明二者存在高度竞争关系,若有合作则说明二者在联合研发新技术。

- 专利社会网络分析在企业创新与管理研究中得到越来越多的关注,包括企业之间的竞争合作以及企业内部发明人之间的合作网络结构对创新的影响等。例如 Paruchuri 等发现,公司内部发明人合作网络中,发明人结构中心性与其对公司创新性的作用呈现倒“U”型关联关系,这种关系同时又受到公司所处的合作网络的中心性及结构洞的负调节^[48]。此外, Su 等采用专利家族的优先权专利网络对公司的专利组合(patent portfolio)进行了分析,服务于企业技术保护与实现战略目标^[49]。

- 基于论文和专利之间的引用关系探讨科学向技术的转移仍将是一大研究热点。现有研究大多数尚停留在计量和统计水平,而缺少在网络结构和演进动力学水平考察科学向技术的知识转移的研究,这将是社会网

络分析在专利分析中的重要潜在应用领域之一。

- 更多的专利数据来源将作为专利社会网络分析的数据基础。现有有关专利网络分析工作大多数都是基于美国专利商标局(USPTO)的专利数据开展的,基于欧洲专利、日本专利、中国专利以及德温特专利的专利社会网络分析工作还比较少,属于待发掘领域。

- 专利网络动力学及演进分析将是今后发展的重点,特别是专利引用网络以及专利权人合作网络动力学及演进分析将是今后的研究热点之一。近期已经发表的几篇文章中也正体现了这种趋势,包括 Barberá 等基于专利引用网络对技术演进(主路径)进行的研究^[50]; Lee 等基于 ICT 领域专利数据开展的协同进化研究^[51]; Kegler 等对机构合作网络演进的分析^[52]等。技术演进路径识别的算法研究与应用也将是专利演进分析的一个热点方向,如常见的搜寻路径连接数目(SPLC)算法和搜寻路径节点对数(SPNP)算法等,刘倩楠等利用 SPNP(stochastic petri net package)算法对以太网技术演进路径进行了研究^[53]。

依托专利文献、专利权人、发明人等网络节点,借助合作、引用、共现、主题关联等关联算法,研究专利演进网络动力学特征的同时,开展网络演变的预测研究,特别是整合了多种关联因素来预测网络演进趋势的研究将是一种新挑战。

参考文献:

- [1] 林聚任. 社会网络分析: 理论、方法与应用(第1版) [M]. 北京: 北京师范大学出版社 2009: 41-47.
- [2] Sternitzke C, Bartkowski A, Schramm R. Visualizing patent statistics by means of social network analysis tools[J]. World Patent Information, 2008, 30(2): 115-131.
- [3] Yoon B, Park Y. A text-mining-based patent network: Analytical tool for high-technology trend[J]. The Journal of High Technology Management Research, 2004, 15(1): 37-50.
- [4] Chang P L, Wu C C, Leu H J. Using patent analyses to monitor the technological trends in an emerging field of technology: A case of carbon nanotube field emission display [J]. Scientometrics, 2010, 82(1): 5-19.
- [5] 王俨, 郭婕婷, 肖国华. 社会网络理论在专利引用中的应用[J]. 情报理论与实践, 2008(3): 364-366.
- [6] Hsueh C C, Wang C C. The use of social network analysis in knowledge diffusion research from patent data [C]//Atzenbeck C. 2009 International conference on advances in Social network analysis and mining. Athens: IEEE 2009: 393-398.
- [7] Wartburg I, Teichert T, Rost K. Inventive progress measured by multi-stage patent citation analysis[J]. Research Policy, 2005, 34(10): 1591-1607.
- [8] Gress B. Properties of the USPTO patent citation network 1963-2002[J]. World Patent Information, 2010, 32(1): 3-21.
- [9] Hung S W, Wang A P. A small world in the patent citation network [C]//LEEM: 2008 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management Singapore: IEEE 2008: 1-5.
- [10] Hung S W, Wang A P. Examining the small world phenomenon in the patent citation network: A case study of the radio frequency identification (RFID) network[J]. Scientometrics, 2010, 82(1): 121-134.
- [11] Smilkov D, Kocarev L. Rich-club and page-club coefficients for directed graphs[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2010, 389(11): 2290-2299.
- [12] Bommarito M J, Katz D M, Zelner J L, et al. Distance measures for dynamic citation networks[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2010, 389(19): 4201-4208.
- [13] Huang M H, Chiang L Y, Chen D Z. Constructing a patent citation map using bibliographic coupling: A study of Taiwan's high-tech companies[J]. Scientometrics, 2003, 58(3): 489-506.
- [14] Meyer M. Does science push technology? Patents citing scientific literature[J]. Research Policy, 2000, 29(3): 409-434.
- [15] Acosta M, Coronado D. Science-technology flows in spanish regions-An analysis of scientific citations in patents [J]. Research Policy, 2003, 32(10): 1783-1803.
- [16] Gao X, Guan J. Networks of scientific journals: An exploration of Chinese patent data [J]. Scientometrics, 2009, 80(1): 283-302.
- [17] Narin F. Patent bibliometrics[J]. Scientometrics, 1994, 30(1): 147-155.
- [18] Kuusi O, Meyer M. Anticipating technological breakthroughs: Using bibliographic coupling to explore the nanotubes paradigm[J]. Scientometrics, 2007, 70(3): 759-777.
- [19] Weng C S, Chen W Y, Hsu H Y, et al. To study the technological network by structural equivalence [J]. The Journal of High Technology Management Research, 2010, 21(1): 52-63.
- [20] Shih H Y, Chang T L S. International diffusion of embodied and disembodied technology: A network analysis approach[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2009, 76(6): 821-834.
- [21] Han Y J, Park Y. Patent network analysis of inter-industrial knowledge flows: The case of Korea between traditional and emerging industries[J]. World Patent Information, 2006, 28(3): 235-247.
- [22] Park J, Lee H, Park Y. Disembodied knowledge flows among industrial clusters: A patent analysis of the Korean manufacturing sector[J]. Technology in Society, 2009, 31(1): 73-84.
- [23] Hu A G Z. The regionalization of knowledge flows in East Asia: Evidence from patent citations data [J]. World Development, 2009, 37(9): 1465-1477.
- [24] Igami M. Exploration of the evolution of nanotechnology via mapping of patent applications[J]. Scientometrics, 2008, 77(2): 289

- 308.
- [25] Criscuolo P, Verspagen B. Does it matter where patent citations come from? Inventor vs. examiner citations in European patents [J]. *Research Policy*, 2008, 37(10): 1892-1908.
- [26] Jaffe A B, Fogarty M S, Banks B A. Evidence from patents and patent citations on the impact of NASA and other federal labs on commercial innovation [J]. *Journal of Industrial Economics*, 1998, 46(2): 183-205.
- [27] Alcacer J, Gittelman M. Patent citations as a measure of knowledge flows: The influence of examiner citations [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2006, 88(4): 774-779.
- [28] Michel J, Bettels B. Patent citation analysis. A closer look at the basic input data from patent search reports [J]. *Scientometrics*, 2001, 51(1): 185-201.
- [29] Inoue H, Souma W, Tamada S. Spatial characteristics of joint application networks in Japanese patents [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2007, 383(1): 152-157.
- [30] Clauset A, Shalizi C, Newman M. Power-law distributions in empirical data [J]. *SIAM Review*, 2009, 51: 661-703.
- [31] Barabási A, Albert R. Emergence of scaling in random networks [J]. *Science*, 1999, 286(5439): 509-512.
- [32] Inoue H, Souma W, Tamada S. Analysis of cooperative research and development networks on Japanese patents [J]. *Journal of Informetrics*, 2010, 4(1): 89-96.
- [33] Fleming L, King C, Juda A. Small worlds and innovation [EB/OL]. [2010-12-20]. http://www.bus.umich.edu/Academics/Departments/CSIB/CSIB/Fleming_04-15-05_Seminar_Paper.pdf.
- [34] Chen Z, Guan J. The impact of small world on innovation: An empirical study of 16 countries [J]. *Journal of Informetrics*, 2010, 4(1): 97-106.
- [35] Wilhelmsson M. The spatial distribution of inventor networks [J]. *Annals of Regional Science*, 2009, 43(3): 645-668.
- [36] He J, Fallah M H. Is inventor network structure a predictor of cluster evolution? [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2009, 76(1): 91-106.
- [37] Lobo J, Strumsky D. Metropolitan patenting, inventor agglomeration and social networks: A tale of two effects [J]. *Journal of Urban Economics*, 2008, 63(3): 871-884.
- [38] Takagi S, Toyama R. On Growth of network and centrality's change analysis of co-inventors network in enterprise [C]//Lytras M D. *Open Knowledge Society: A Computer Science and Information Systems Manifesto*. Athens: WSKS, 2008: 422-427.
- [39] Salmenkaita J P. Intangible capital in industrial research: Effects of network position on individual inventive productivity [EB/OL]. [2010-12-20]. <http://lib.tkk.fi/Diss/2004/isbn9512273470/articles.pdf>.
- [40] Nerkar A, Paruchuri S. Evolution of R&D capabilities: The role of knowledge networks within a firm [J]. *Management Science*, 2005, 51(5): 771-785.
- [41] 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.
- [42] Fleming L, Frenken K. The evolution of inventor networks in the silicon valley and Boston regions [J]. *Advances in Complex Systems*, 2007, 10(1): 53-71.
- [43] Bettencourt L M A, Kaiser D I, Kaur J. Scientific discovery and topological transitions in collaboration networks [J]. *Journal of Informetrics*, 2009, 3(3): 210-221.
- [44] Otte E, Rousseau R. Social network analysis: A powerful strategy, also for the information sciences [J]. *Journal of Information Science*, 2002, 28(6): 441-453.
- [45] Chen Y W, Fang S. Mapping patents collaboration evolution networks of CAS, China [C]//Proceedings of ISSI 2011. -13th International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics. Durban: ACM, 2011: 952-954.
- [46] Dou H, Bai Y. A rapid analysis of Avian Influenza patents in the Esp@cenet database - R&D strategies and country comparisons [J]. *World Patent Information*, 2007, 29(1): 26-32.
- [47] 杨璧嘉, 张旭. 专利网络分析在技术路线图中的应用 [J]. *现代图书情报技术*, 2008(5): 61-66.
- [48] Paruchuri S. Intraorganizational networks, interorganizational networks, and the impact of central inventors: A longitudinal study of pharmaceutical firms [J]. *Organization Science*, 2010, 21(1): 63-80.
- [49] Su F P, Lai K K, Sharma R R K, et al. Patent priority network: Linking patent portfolio to strategic goals [J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2009, 60(11): 2353-2361.
- [50] Barberá-Tomás D, Jiménez-Sáez F, Castelló-Molina I. Mapping the importance of the real world: The validity of connectivity analysis of patent citations networks [J]. *Research Policy*, 2011, 40(3): 473-486.
- [51] Lee S, Kim M S, Park Y. ICT co-evolution and Korean ICT strategy-An analysis based on patent data [J]. *Telecommunications Policy*, 2009, 33(5/6): 253-271.
- [52] Kegler M C, Rigler J, Ravani M K. Using network analysis to assess the evolution of organizational collaboration in response to a major environmental health threat [J]. *Health Education Research*, 2010, 25(3): 413-424.
- [53] 刘倩楠. 基于专利引文网络的技术演进路径识别研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2010.

(作者简介) 陈云伟,男,1978年生,助理研究员,博士研究生,发表论文20余篇。

方曙,男,1957年生,研究员,馆长,博士生导师,发表论文70余篇。