

科学知识图谱

——科学计量学的新领域

杨国立 李 品 刘 竞

(江苏大学图书馆科技信息研究所, 江苏镇江 212013)

[摘 要] 本文介绍了科学知识图谱的起源, 对其与知识地图之间的关系进行了解析, 概述了其所应用的方法、工具, 综述了其应用进展, 最后对其应用提出了一些建议。

[关键词] 科学知识图谱 科学计量学 引文分析 共被引分析 社会网络分析 多维尺度分析

[中图分类号] G31

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-8357(2010)04-0028-07

Mapping Knowledge Domain

——A New Field of Scientometrics

Yang Guoli Li Pin Liu Jing

(Institute of Science and Technology Information of Jiangsu University, Zhenjiang 212013)

Abstract: This paper introduces the origin of Mapping Knowledge Domain, and analyzes the relationship between Mapping Knowledge Domain and knowledge map. Then, based on the summary of its application method and tools, the paper analyzes its application progress. At last, it puts forward some suggestions.

Keywords: Mapping Knowledge Domain; scientometrics; citation analysis; co-citation analysis; social network analysis; multidimensional scaling analysis

CLC Numbers: G31

Document Code: A

Article ID: 1673-8357(2010)04-0028-07

科学知识图谱是在信息技术推动下, 新近发展出来的一个新领域。虽然我国对科学知识图谱研究起步较晚, 但根据对陈超美教授关于可视化软件 Citespace 的网站访问统计, 2008 年我国排在世界第二位, 访问率占总访问率的 32.34%, 而 2009 年攀升为第一, 占总访问率的 38.29%。这从一定程度上说明, 知识图谱已引起我国学者的广泛关注, 2008 年大连理工大学 WISE 试验室研究团队出版了国内第一部关于科

学知识图谱和知识可视化的学术专著《科学知识图谱: 方法与应用》, 掀起了中国关于科学知识图谱研究的热潮。因此, 本文拟从科学知识图谱起源入手, 对科学知识图谱的理论与方法等作一简要介绍, 以供国内同行广泛交流。

1 科学知识图谱概述

1.1 知识图谱的概念

科学知识图谱是把应用数学、计算机科学、

收稿日期: 2010-06-13

基金项目: 本文受国家社科基金“欧美图书馆学博士学位论文课题分析”资助。

作者简介: 杨国立, 江苏大学图书馆科技信息研究所, 馆员, 研究方向为科学计量学, Email: lib511@ujs.edu.cn;

李 品, 江苏大学图书馆科技信息研究所, 研究方向为科学计量学;

刘 竞, 江苏大学图书馆科技信息研究所, 讲师, 研究方向为科技史。

科学学、信息科学等学科的理论和方法与科学计量学引文分析、共现分析、社会网络分析方法结合,用可视化的图谱形象地揭示科学发展进程和结构关系的一种研究方法,属于科学计量学的范畴。

1.2 知识图谱与知识地图的关系

科学知识图谱与科学知识地图十分相似,甚至在不同的研究阶段、研究领域成为科学知识图谱的同义词。知识地图在狭义上就是表达科学技术知识或一般知识资源地理分布状况的地图^[1]。随着信息技术的迅速发展,知识地图进入了电子时代,在 Internet 和 Intranet 上普遍使用的超文本链接和应用链接就是知识地图的简单形式。这时,很多绘制知识地图的工具应运而生,如 LotusNotes、IBM 的 KnowledgeX 和微软的 Visio 等,它们都是基于数据库来绘制知识地图,有利于知识地图的动态更新和扩展。这就突破了局限于描述知识地理分布的知识地图界限,使展示知识与信息地理分布状况的知识地图,往往带有图谱功能,并可做出知识发现,此时,知识地图就逐渐演化为涵义与内容更加广泛的知识图谱了。在知识管理中应用自组织地图及信息可视化技术,对文献和网络信息进行自动分类,制作具有知识导向的自组织知识地图,基本上属于知识图谱或知识可视化的范畴。虽然两者之间存在一定的交叉,但其差异也非常明显,“地图”是一个以二维或三维空间形式显示地形和人类活动及相关特征的地理学概念,而“图谱”是一个图像,以一定空间形式在一定时间范围内展现与变化的系统概念,知识图谱比知识地图更能揭示知识之间的联系和知识的进化规律^[2]。

1.3 知识图谱的起源与发展

科学知识图谱出现之前,科学计量学家们一直努力寻找一种能够以可视化图像直观、形象地揭示科学学科的结构与进展的方法,经过近 70 年的发展,在引文分析理论、复杂网络与社会网络分析理论、信息可视化技术^[3]的推动下,科学知识图谱逐渐成为国内外科学计量学一个崭新的研究热点。(1)引文分析理论的发展促进了科学知识图谱的兴起。20 世纪 60 年代,对科学计量学具有基础建设意义的重大标志性事

件——加菲尔德 (Eugene Garfield) 创办的《科学引文索引 (SCI)》诞生。1965 年,普赖斯以 SCI 为数据来源,在《科学》杂志上发表了一篇科学计量学的杰作《科学论文的网络》^[4]。在这篇论文中,普赖斯第一次提出并界定了“研究前沿”的概念,发现了在科学论文之间形成的引文规律,开启了以引文分析和网络分析为基础的科学计量学新方向,阐发了绘制科学引文网络图谱来探测科学前沿的可能性。到了 20 世纪 70、80 年代,以引文索引为基础开展科学指标与评价研究,是这个时期科学计量学最为活跃的领域之一。此时,匈牙利的三位学者 T.布劳温 (Tibor Braun)、W.格伦采尔 (Wolfgang Glanzel) 和 A.舒伯特 (Andras Schuber) 以 SCI 数据库为基础,选择了 32 个具有可比性的国家为研究对象,出版了《科学计量学指标》,用直观的图形和简明的列表,展现了 32 个国家在世界科学版图上的位置,这实际上是世界科学地图和科学知识图谱的雏形。(2)复杂网络系统和社会网络分析的兴起丰富了引文分析理论与方法。美国社会心理学家斯坦利·米尔格兰姆 (Stanley Milgram) 于 1967 年通过社会网络人际关系的“六度分隔”试验发现了著名的“小世界”现象^[5],引起了各学科专家的广泛兴趣。1990 年代中期,比利时情报计量学专家埃格赫 (Leo Egghe) 和鲁索 (Ronald Rousseau) 合作出版了《情报计量学引论》,对多元统计分析、复杂网络分析及其在引文网络分析中的应用进行了阐述,丰富了引文分析方法,促进了科学知识图谱的产生。进入 21 世纪,社会网络分析的探索与应用向纵深发展,风靡全球。(3)信息可视化为科学知识图谱提供了强大的技术支持。1999 年到 2002 年间^[6],是信息可视化技术发生重大转折的时期,其标志是 1999 年陈超美出版了该领域的第一部学术专著《信息可视化与虚拟环境》,R.斯宾塞 (Robert Spence) 2000 年出版了《信息可视化》,之后相关研究如雨后春笋般涌现。

2 构建知识图谱的方法与软件

2.1 知识图谱的理论与方法

2.1.1 引文与共被引分析

所谓引文分析是指利用数学、统计学和比

较、概括、归纳等方法对科学期刊、论文、作者等各种对象之间的引用与被引用关系进行分析,以揭示各分析对象内存在的数量特征和内在规律的一种文献计量研究方法。通过引文间的网状关系进行研究,能够探明有关学科间的关系和某些发展规律。目前引文分析大致有3种基本类型:(1)从引文数量上进行研究,主要用于评价期刊、论文、机构、作者及地区的科研水平;(2)从引文间的网状关系或链状关系进行研究,主要用于揭示学科的发展与联系,并展望未来前景等;(3)从引文反映出的主题相关性方面进行研究,主要用于揭示科学的结构和进行文献检索等^[6]。

共被引分析是一种重要的关联分析方法,当两篇文献同时被第3篇文献引用时,我们就称这两篇文献存在共被引关系,可分为期刊、著者、学科共被引。通过文献共被引相关群的分析,可进行文献学方面的理论研究;通过期刊共被引分析可以揭示各学科期刊之间的相互关系和结构特征;通过作者共被引分析可以揭示学科专业人员之间的联系和结构特点,并进而反映出他们所从事的学科专业之间的联系及其变化趋势;通过学科共被引分析可以揭示某些学科间的相互交叉和依赖关系,从宏观角度上反映科学体系的学科构成和结构特征。

2.1.2 共词分析

共词分析属于内容分析法的一种。它的原理主要是对一组词两两统计它们在同一篇文献中出现的次数,以此为基础对这些词进行聚类分析,生成共词文献簇,进而分析这些词所代表的学科和主题的结构变化^[7]。它利用大量文献中共同出现的关键词可以有效地反映文本关键词之间的关联强度,减少了关键词的空间,用一套结构图有效地展示了关键词之间的关联。利用共词方法可以透视研究领域的研究热点,横向和纵向分析领域学科的发展过程、特点以及领域或学科之间的关系,反映某个专业的科学研究水平及其发展历史的动态和静态结构,拓展信息检索领域以求帮助用户检索信息,等等^[8]。

2.1.3 多元统计分析

多元统计分析是对若干(可能)相关的随

机变量的观测值的分析。“维度降低技术”是多元统计分析的一个特征,包括因子分析(主成分分析)、多维尺度分析和聚类分析。其中,因子分析的基本目的就是用少数几个因子来描述许多指标或因素之间的联系,即将比较密切的几个变量归在同一类中,每一类变量就成为一个因子,以较少的因子来反映原资料的大部分信息;多维尺度分析通过低维空间展示作者之间的联系,并利用平面距离反映作者之间的相似度;聚类分析的研究起点是原始数据的二维矩阵,以获得点的二维图。

2.1.4 词频分析

词频分析法是利用能够揭示或表达文献核心内容的关键词或主题词在某一研究领域中出现频次高低,来确定该领域研究热点和发展动向的文献计量方法,其所依据的基本理论为齐普夫定律(Zipf's Law)。由于一篇文献的关键词或主题词是文章核心内容的浓缩和提炼,因此,如果某一关键词或主题词在其所在领域的文献中反复出现,则可反映出该关键词或主题词所表征的研究主题是该领域的研究热点。词频分析方法被国内外的许多科学计量学研究者应用于学科前沿的研究。例如,中国科学计量学家梁立明借助词频分析方法研究了56位情报学家对科学的关注视角及解读方法^[9];荷兰科学计量学家用共引分析与词频分析相结合的方法,绘制出了生物化学领域研究前沿的知识图谱,等等。

2.1.5 社会网络分析

社会网络分析是人、集团、组织或者其他信息与知识处理实体的关系和流动的映射和测量。网络中的节点是人和集团,而链接表示节点间的关系或者流动。它将社会结构界定为一个网络,强调的是每个行动者都与其他行动者有或多或少的关系,更多地聚焦于成员之间的联系而非个体的特征。一个社会网络是一个人群的集合,其中的每一个人都与其中某个子群体的人相互熟悉。这样一个网络可以用点(或矢量)的集合来代表人,用线的连接来表示相识。在理论上,社会网络分析可以为任何共同体构建一个社会网络^[10],社会网络分析提出了若干定量分析的指标,主要概念有紧密性、中介性、

中心性、桥、簇、团、丛等^[11]。通过这些概念,可以借助可视化技术了解有重要地位的作品、作者、学科力量和群体分布等^[12]。将其应用于文献计量学研究,可以通过社会网络分析中的K核、中心性和中介性等概念,找寻出具有重要地位的作品、作者或者是关键词。

2.2 绘制知识图谱的常用软件

目前用于绘制知识图谱的工具包括引文分析软件、多元统计分析软件、词频分析软件、社会网络分析软件。下面就国内外文献报道所使用的这些软件做一简要的介绍。

2.2.1 引文分析软件

(1) Bibexcel

Bibexcel是由瑞典科学计量学家皮尔逊(Persson)开发的用于科学研究的科学计量学免费软件。其功能包括文献计量学分析、引文分析、共被引分析、引文耦合分析、聚类分析、知识图谱绘制等等。其所应用的数据主要包括Web of Science论文。

(2) Citespace

Citespace是2003年由美国Drexel大学陈超美开发的,它将知识的宏观计量与微观计量相结合,其目的是利用可视化技术在知识域中帮助用户进行突发趋势和技术预测,识别和跟踪研究领域的演变,其所应用的主要数据包括Web of Science论文、Derwent专利、NSF基金、Scopus数据库论文。

(3) HistCite

HistCite是2003年由美国Garfield博士等开发的,它是一个很好的引文历史可视化分析工具。该工具利用共引理论,通过一系列相关数据产生时代和其他类型的表格及编年图表,以此实现知识领域的分析功能。

2.2.2 多元统计分析软件

SPSS是由美国SPSS公司20世纪80年代初开发的大型统计学软件包,具有完整的数据输入、编辑、统计分析、报表、图形制作等功能,其内嵌具有相关分析、因子分析、多维尺度分析和聚类分析等功能。

2.2.3 词频分析软件

(1) Wordsmith Tools

Wordsmith Tools是英国牛津大学开发的商

业性词频分析软件。其主要功能是Wordlist和Concord tool两种。Wordlist可以将一个文本中的所有单词按出现频次进行排序,应用Concord tool可以找到与任意一个单词搭配的词组。

(2) WordStat

WordStat软件是Simstat的一个模块,具有所有基本分析功能,还有一些注释功能和各种信息的计量统计功能,如按各个字段来统计人名、作者、关键词、主题词等的出现频率。这种统计功能可用于文献计量学的分析。

2.2.4 社会网络分析软件

(1) Pajek

Pajek是一个基于Windows的用于大型网络可视化的社会网络分析免费软件,它允许用户对大量抽象的数据进行分析。其主要功能是将一个大型网络分解为一些小型的子网络,并展示这些子网络的关系,它能够同时处理若干网络,包括双模式网络、时间事件网络、纵向网络等的分析功能,用户也能够生成一系列局部交叉的网络进行各种分析。

(2) Ucinet

Ucinet是目前最流行的社会网络分析软件,集成多个软件,其中包括一维与二维数据分析的Netdraw,还有正在发展应用的三维展示分析软件Mage等,同时集成了Pajek用于大型网络分析的Free应用软件程序。它是面向矩阵的,数据集合是一个或多个矩阵的集合。一个简单的UCINET文件包含两个文件:事实数据和关于数据的信息。UCINET数据可以直接导入也可以新建表单直接录入。UCINET提供大量的数据管理和转换工具,例如选择子集、合并数据集、序化、转化或记录数据。

(3) Netdraw

Netdraw是简单的绘制网络图的工具,它可以读取UCINET系统文件、UCINET文本文件、Pajek文本文件。绘制的图片以WMF、BMP和JPG文件格式保存。它可以同时处理多种关系,并可以根据节点的特性设置颜色、形状和节点的大小,可做中心性分析、子图分析、角色分析等多种数据分析, also具有很强的矩阵运算能力。

3 科学知识图谱的应用历程

3.1 引文与共被引分析图谱

1973年,科学计量学家亨利·斯默尔(Henry Small)提出了论文“共被引”的概念和共被引分析的方法^[13],并以粒子物理学为例,以1971年的SCI数据库为数据来源,绘制了该学科领域高被引论文的共被引网络图谱。可以认为这是最早的共被引分析图谱之一。不久,White和Griffith合作发表的《作者共引:科学结构的文献测量方法》一文开创了共引研究的先河,该文通过对1972-1979年间39位情报学家的共引情况,描绘了他们在学科中的位置和情报学的学科结构^[14]。自1997年起,美国德雷塞尔大学信息科学技术学院科学计量学家怀特(Howard D.White)和麦肯(K.W.Mcain)^[15-16],荷兰莱顿大学科学技术学中心的诺恩斯(E.C.M.Noyons)、冯雷恩(van Raan,A.F.J.)和梅德(Moed,H.F.)^[17-21],就开始不约而同地以共被引分析为基础,与多种多元统计分析结合起来,采用相关的统计绘图软件,开展科学文献的计量研究,建立了基于多维尺度分析的知识图谱方法。到了1999年,美籍华人陈超美(Chen Chaomei)教授把寻径网络(Pathfinder Network,简称PF NET)技术引入作者共被引分析,并生成了有关超文本研究的共被引图谱^[22],七年后,他采用共被引分析方法实现了大规模生物集群灭绝(1981-2004年)和恐怖主义(1900-2003年)两个研究领域的建模和可视化过程^[23],这成为他的代表作品。2005年是有纪念意义的一年,这一年,Loet Leydesdorff等人运用新型知识图谱分析软件Pajek和传统的多元统计分析方法相结合,将共被引研究延伸到网络领域,为共被引分析开辟了一片新天地^[24]。在国内,大连理工大学、武汉大学、中国科学院、中国医科大学等均进行了相关应用研究,这其中,以大连理工大学的研究最为活跃,他们将共被引分析方法应用于科学学与管理学、工程技术科学的研究^[25-28]。

3.2 共词分析图谱

1986年,法国国家科学研究中心CNRS的Callon、Law和Rip出版了《Mapping the Dynamics of Science and Technology》^[29]一书,该书的出版是共词分析方法的重要里程碑。随后,法国的

Law等率先运用共词分析法分析环境酸化研究中的政策和科学变化地图^[30],并撰文验证共词分析方法^[31];Qin也撰文专门探讨如何用共词分析法发现学科知识结构^[32];Courtial等人对专利文献的标题词做了共词聚类分析,得到食品类专利的研究热点问题,同时用战略坐标将这些研究热点显示出来^[33];除此之外,de Looze和Lemarie将其用于植物生物学领域,Bhatta charya和Basu将其用于浓缩物质物理学领域,Peters和van-Raan将其用于化学工程领域,Ding Chowdhury和Foo将其用于信息检索领域,Onyancha和O-cholla将其用于医学领域等^[34]。国内学者也对共词分析的应用进行了大量的研究,如在各知识领域研究热点分析中的应用、在信息检索中的应用、在知识服务中的应用等。

3.3 社会网络分析图谱

美国社会心理学家Moreno创立的社会测量法为社会网络分析奠定了计量分析基础。发展至今,社会网络分析已被广泛应用于网络社会关系发掘、支配类型发现以及信息流跟踪,通过社会网络信息来判断和解释信息行为和信息态度^[35]。20世纪90年代,德国科学计量学家H.克雷奇默(H.Kretschmer)把格式塔心理学的构型理论和社会网络中人际关系结构理论结合起来,建立了描述社会网络构型的非线性函数,用以分析科学合作问题,取得了多项成果,其中描绘科学合作网络构型的三维空间模型,形成了独具特色的一种科学知识图谱与可视化图像。1996年社会网络分析方法被广泛应用于Web,其目的是为了找出对用户查询的最权威的回答页面,将页面生成和链接当作“主体”对象,通过链接簇或者核心节点标明网络中的核心资源。其中,较为典型的是Google的网络链接排、搜索引擎主题搜索、页面信息嵌入和过滤等^[35]。在国内,社会网络分析法的应用研究也十分广泛,如社会网络分析法在引文分析、合著分析、科研协作网、学科研究趋势、专家知识地图、创新研究、科研团队知识共享中的应用等^[36-44]。

4 科学知识图谱的局限及建议

显然,知识图谱能够准确、全面地反映知

识领域的各种信息。但在数据检索、数据导入和图谱解读等方面会存在一些实际困难：（1）就数据检索而言，我们习惯于通过关键词、主题词、分类号等方式组配检索策略进行检索，但这种方式必须对所研究的领域有深入的了解，否则就会造成数据检索不全、不准等情况，笔者认为，通过对 JCR 分析和对国内外相关文献进行研究，选取某个知识领域具有代表性的权威期刊作为数据源，采用期刊名检索，不失为一种有效的解决方法。（2）在数据导入方面，目前绘制知识图谱的软件对数据格式的要求非常严格，这就对以国内数据库数据为基础的研究造成了很大的局限，因此，应联合各学科专家、学者的力量，努力开发兼容国内大型数据库格式的图谱绘制软件，同时还应积极与国外数据库商加强合作、借鉴其技术、改进国内数据库相关技术，使其具有国际普遍适用性。（3）另外，图谱的解读无疑是绘制知识图谱的最终目的和最重要的环节，只有对图谱进行深入的定性分析，才能够保证图谱解读的深度，尤其是对关键节点的定性分析更为重要，但在实际分析时，可能会由于对知识领域了解的广度和深度不够，致使我们无从下手，我们可以通过咨询该领域的专家（如，关键点文献的作者）或者查阅文献（如，包含关键点文献引文的段落）等方法辅助分析，以起到事半功倍的效果。

参考文献

- [1] 陈悦, 刘则渊. 悄然兴起的科学知识图谱 [J]. 科学学研究, 2005, 23 (2): 149-154.
- [2] 刘则渊, 等. 科学知识图谱: 方法与应用 [M]. 北京: 人民出版社, 2008: 1-31.
- [3] Price, D.J. de S. Networks of Scientific Papers [J]. Science, 1965, 149: 510-515.
- [4] Milgram S. The Small World Problem [J]. Psychology Today, 1967 (2): 60-67.
- [5] Borner, K., Chen, C., Boyack, K. Visualizing Knowledge Domains [J]. Annual Review of Information Science & Technology, 2003, 37: 179-355.
- [6] 邱均平. 信息计量学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2007: 315-427.
- [7] 崔雷, 郑华川. 关于从 MEDLINE 数据库中进行知识抽取和挖掘的研究进展 [J]. 情报学报, 2003 (4): 425-433.
- [8] 冯璐, 冷伏海. 共词分析方法理论进展 [J]. 中国图书馆学报, 2006 (2): 88-92.
- [9] 梁立明, 谢彩霞. 词频分析法用于我国纳米科技研究动向分析 [J]. 科学学研究, 2003, 21 (3): 138-142.
- [10] 刘军. 社会网络分析导论 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2004 (1-4).
- [11] 吴斌, 杜楠, 裴欣, 等. 基于科技文献的科研组织网络分析方法研究 [J]. 情报学报, 2008 (4): 591-595.
- [12] 李晓辉, 徐跃权. 复杂网络理论的情报学应用研究 [J]. 情报资料工作, 2007 (3): 9-13.
- [13] Small H. Co-citation in Scientific Literature: A New Measure of the Relationship between Publications [J]. Journal of the American Society of Information Science, 1973, 24 (4): 265-269.
- [14] White, H. D., Griffith B. C. Author Co-citation: A Literature Measure of Intellectual Structure. Journal of the American Society for Information Science, 1981, (3): 163-171.
- [15] White, H. D., McCain, K. W. Visualization of Literatures. In M. E. Williams (Ed.), Annual Review of (Make Corrections), Information Science and Technology, 1997, 32: 99-168.
- [16] White, H. D., McCain, K. W. Visualizing A Discipline: An author Co-citation Analysis of Information Science, 1972-1995 [J]. Journal of the American Society for Information Science, 1998, 49 (4): 327-356.
- [17] Noyons, E. C. M., Van Raan, A. F. J. Monitoring Scientific Developments from A Dynamic Perspective: Self-organized Structuring to Map Neural Network Research [J]. Journal of the American Society for Information Science, 1998, 49 (1): 68-81.
- [18] Noyons, E. C. M., Van Raan, A. F. J. Advanced Mapping of Science and Technology [J]. Scientometrics, 1998, 41 (1-2): 61-67.
- [19] Noyons, E. C. M., Moed, H. F., Luwel, M. Combining Mapping and Citation Analysis for Evaluative Bibliometric Purposes: A Bibliometrics Study [J]. Journal of the American Society for Information Science, 1999, 50 (2): 115-131.
- [20] Noyons, E. C. M., Moed, H. F., Van Raan, A. F. J. Integrating Research Performance Analysis and Science Mapping [J]. Scientometrics, 1999, 46 (3): 591-604.
- [21] Noyons, E. C. M., Bibliometrics Mapping of Science in A

- Science Policy Context [J]. Scientometrics, 2001, 50 (1): 83-98.
- [22] Chen, C. Visualizing Semantic Spaces and Author Co-Citation Networks in Digital Libraries [J]. Information Processing and Management, 1999, 35 (2): 401-420.
- [23] Chen, C. CiteSpace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature [J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 57 (3): 359-377.
- [24] Loet, Leydesdorf. Co-occurrencemetrics and Their Applications in Information Science: Extending ACA to the Web Environment [J]. Journal of the American Society for Information Science and technology, 2006, 7 (12): 1-37.
- [25] 张春博, 王续琨, 杨木. 基于作者共被引的公共行政研究状况图谱分析——以《Public Administration Review》为研究对象 [J]. 公共管理学报, 2009 (4): 38-44, 125.
- [26] 王小梅, 等. 基于同被引分析的科学结构图 [J]. 科学观察, 2009 (4): 1-15.
- [27] 王贤文, 刘则渊. 基于共被引率分析的期刊分类研究 [J]. 科研管理, 2009 (5): 187-195.
- [28] 邱均平, 李俊佩. 图书馆学情报学期刊的同被引研究 [J]. 情报理论与实践, 2009 (2): 17-20.
- [29] Callon M, Law J, Rip A. Mapping the Dynamics of Science and Technology: Sociology of Science in the Real-world [M]. Macmillan, 1986.
- [30] Law J, et al Policy and the Mapping of Scientific Change: A Co-word Analysis of Research into Environmental Acidification [J]. Scientometrics, 1988, 14 (3-4): 251-264.
- [31] Law J, Whittaker J. Mapping Acidification Research: A Test of the Co-word Method [J]. Scientometrics, 1992, 23 (3): 417-461.
- [32] Qin H. Knowledge Discovery Through Co-word Analysis [J]. Library Trends, 1999, 48 (1): 133-159.
- [33] Courtial J P, Callon M, Sigogneau A. The Use of Patent Titles for Identifying the Topics of Invention and forecasting Trends [J]. Scientometrics, 1993, 26 (2): 231-242.
- [34] 廖胜姣, 肖仙桃. 科学知识图谱应用研究概述 [J]. 情报理论与实践, 2009 (1): 122-125.
- [35] 裴雷, 马费城. 社会网络分析在情报学中的应用和发展 [J]. 图书馆论坛, 2006, 26 (6): 40-45.
- [36] 王运锋, 夏德宏, 颜尧妹. 社会网络分析与可视化工具 NetDraw 的应用案例分析 [J]. 现代教育技术, 2008 (4): 85-89.
- [37] 徐媛媛, 朱庆华. 社会网络分析法在引文分析中的实证研究 [J]. 情报理论与实践, 2008 (2): 184-188.
- [38] 李亮, 朱庆华. 社会网络分析方法在合著分析中的实证研究 [J]. 情报科学, 2008 (4): 549-555.
- [39] 王志亮. 社会网络分析方法在科研协作网中的应用研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [40] 苏娜, 张志强. 社会网络分析在学科研究趋势分析中的实证研究——以数字图书馆领域为例 [J]. 情报理论与实践, 2009 (9): 79-83.
- [41] 刘彤, 时艳琴. 基于社会网络分析的专家知识地图应用研究 [J]. 情报理论与实践, 2010 (3): 68-71.
- [42] 邵云飞, 欧阳青燕, 孙雷. 社会网络分析方法及其在创新研究中的运用 [J]. 管理学报, 2009 (9): 1188-1193, 1203.
- [43] 冯博, 刘佳. 大学科研团队知识共享的社会网络分析 [J]. 科学学研究, 2007 (6): 1156-1163.
- [44] 刘蓓, 袁毅, BOUTIN Eric. 社会网络分析法在论文合作网中的应用研究 [J]. 情报学报, 2008 (3): 407-417.